

# 차세대전력공급네트워크(Micro-grid)의 운용제어알고리즘

김재언<sup>1\*</sup>, 노대석<sup>2</sup>

## An Operation and Control Algorithm of Micro-grid

Jae-Eon Kim<sup>1\*</sup> and Dae-Seok Rho<sup>2</sup>

**요약** 전력산업의 구조개편과 더불어 분산전원의 배전계통연계운용 및 전력품질이 전력회사의 배전사업자, 구역전 기사업자, 전기공급 신뢰도와 밀접한 관계에 있는 산업용 수용가들에게 많은 관심을 불러일으키고 있다. 최근, 이러한 주변정세는 차세대의 배전계통이 다수의 차세대 전력공급네트워크(Micro-grid)들로 구성될 것이라고 하는 예상을 전문가들로부터 제기되기에 이르렀다. 그러나, 제안된 Micro-grid는 몇몇의 분산전원과 전력 품질을 보상하는 기기, 그리고 통신제어설비와 부하들로 구성된다는 기본적인 내용에 지나지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 수용가에 고신뢰 고품질의 전력공급을 가능하게 하는 차세대 전력공급네트워크인 Micro-grid의 Topology와 그 운전제어알고리즘을 제안한다.

**Abstract** There is an increasing concern to interconnect DG(Distributed Generation) units into a distribution system and operate and maintain the system power quality within a proper level to distribution companies, regional electricity utilities and industrial customers. Recently, this situation makes many experts estimate a next generation of distribution system which is composed of some micro-grids. But the proposed micro-grid is only mentioned as a small grid with some DG units, some power quality compensators, communication and control equipments. In this paper, a topology and an operation/control algorithm of the micro-grid which is able to supply the electricity with high reliability and quality, are proposed.

**Key Words** : Distribution systems, Micro-grid, Distributed Generation, Power Quality

### 1. 서론

차세대 전력공급 네트워크 (Micro-grid)란 “다수의 분산전원(Distributed Generation), 전력품질보상장치, 연계 제어설비 및 부하 등으로 구성되어, 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 새로운 개념의 소규모 전력 시스템”으로 정의할 수 있으며, 광의의 의미에서는 다수의 Micro-grid가 기존의 배전계통에 연계된 차세대 배전계통도 포함할 수 있다. [1]-[4]

Micro-grid의 원초적인 형태는 1886년 웨스팅하우스사에 의해 구축된 매사추세츠주 150 가구(110V 전등)에 전력을 공급하는 세계 최초의 상업용 교류공급계통으로 볼 수 있으며, 이것은 차후 보다 많은 수용가들에게 경제적

이고 안정한 전력공급을 할 수 있는 지금과 같은 다수의 원격 집중전원을 갖는 대규모 전력네트워크로 발전되었다. 그러나 최근에 아이러닉하게도 다시 Micro-grid의 부활론이 제기되고 있는 데, 물론 이것은 예전의 것과는 기본적으로 그 성격이 다르다. 먼저, 그 부활의 배경으로는 1970년대의 오일쇼크로 인한 신재생에너지의 적극적인 활용, 에너지 및 환경문제로 인한 분산전원의 개발과 계통에의 도입, 전력품질에 대한 중요성 인식, 첨단기술 및 소재의 발달로 인한 소규모 발전설비의 경제성, 전력산업 구조 개편에 따른 배전사업의 경영다각화 등을 들 수가 있다. 이러한 배경 하에서 최초로 제안된 Micro-grid의 형태는 일본의 FRIENDS(Flexible, Reliable, Intelligent EEnergy Distribution System)으로 볼 수 있으며[5], 그 이후로 미국 EPRI에서 제안한 Custom Power Distribution System, 미국의 Westinghouse사의 Premium Power Bus, EU Cluster의 Integration of RES(Regional Energy System) + DG(Distribution Generation), 미국 DOE의 CERTS MicroGrid Concept 등이 제안되어 왔다.[1][6] 그러나, 지금까지 제안되어 온 Micro-grid는 그 구조와 운전

이 논문은 2004학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

<sup>1</sup>충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공 부교수

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 정보기술공학부 전기공학전공 부교수

\*교신저자: 김재언(jekim@cbnu.ac.kr)

제어가 확실히 정의된 것이 없고, 단지 개념정도에 지나지 않는다. 그러나, 2005년도부터 구체적인 실현형태를 제안한 논문들이 출현하기 시작하였는데, 대부분이 직렬과 병렬 인버터로 구성되는 있는 UPQC(Unified Power Quality Conditioner)의 형태이다.[2]-[4] 그러나, 직병렬인버터로 구성되는 Micro-grid의 경우는 직렬인버터의 전압 보상한계, 계통사고 발생시 직병렬인버터의 간섭 및 연계/전환/단독운전모드의 복잡성 등으로 현실적으로 그 실용화에는 해결해야할 과제가 많다.

따라서, 본 논문에서는 소형동기발전기(Micro Synchronous Generator), 정류기(Rectifier), 대용량 커패시터, PWM인버터, SSB(Solid State Breaker) 로 구성되는 Micro-grid의 Topology와 모델링 방법, 그 운전제어알고리즘을 제안하고, 이를 시뮬레이션을 통하여 제안된 Micro-grid의 기능을 검증하기로 한다.

## 2. Micro-grid의 기본구조(Topology)

본 논문에서 제안하고자 하는 Micro-grid의 기본 구조는, 평상시에는 연계되어 있는 전력계통과 전력을 쌍방간 거래를 할 수 있고, 비정상상태시에는 그 원인을 신속하고 확실히 검출하여 연계계통과 분리됨과 동시에 Micro-grid 구내부하에 대하여서는 독립적으로 전력을 안정하게 공급할 수 있는 형태로 하였다. 물론, 이것은 분산전원의 계통연계조건도 만족해야 한다. 여기서 말하는 비정상상태시란 연계계통상의 각종 사고로 순시전압저하(Voltage sag), 순시전압상승(Voltage swell), 순시정전(Interruption), 단독운전(단독운전) 현상 등이 발생된 상

태를 의미한다.

따라서, 상기과 같은 기능의 Micro-grid를 실현하기 위해서 소형동기발전기(Micro Synchronous Generator), 정류기(Rectifier), 대용량 커패시터, PWM인버터, SSB(Solid State Breaker) 및 부하로 구성되는 그림 1의 점선내와 같은 Micro-grid의 기본구조를 제안한다.

기본적 동작으로서는 먼저 동기발전기에 의하여 발전된 교류전력이 AC/DC 정류기를 통과하여 비교적 대용량 커패시터 DC link에 저장되는 데, 이 DC Link는 발전기와 인버터간의 에너지버퍼 역할을 담당하게 된다. 그 다음에 연결되어 있는 병렬 PWM 인버터는 공급된 직류전력을 상용주파수의 교류전력으로 변환시켜 연계된 전력계통에 유효전력공급, 무효전력 및 고조파 보상운전, Micro-grid 총괄제어도 겸하게 한다. 한편, 연계계통과 Micro-grid의 접속점인 연계점(Point of Common Coupling)에 설치되어 있는 SSB(Solid State Breaker)는 비정상 상태시 나타나는 순시저전압, 순시과전압, 순간정전, 과주파수, 부족주파수 등의 현상을 검출하는 보호기능 갖추고, 이의 검출시 즉시 계통과 해열하고, 이를 인버터의 총괄제어반으로 신호를 보내도록 한다. 이 때, 연계계통이 정상상태로 복귀되었을 때, 이를 검지하여 인버터 제어반에 알리고 제어신호를 받아 연계계통에 동기투입한다.

## 3. Micro-grid의 운용제어알고리즘

Micro-grid는 분산전원과 같이 기존의 전력계통에 연계될 경우, 다음의 기본 조건을 만족해야한다.

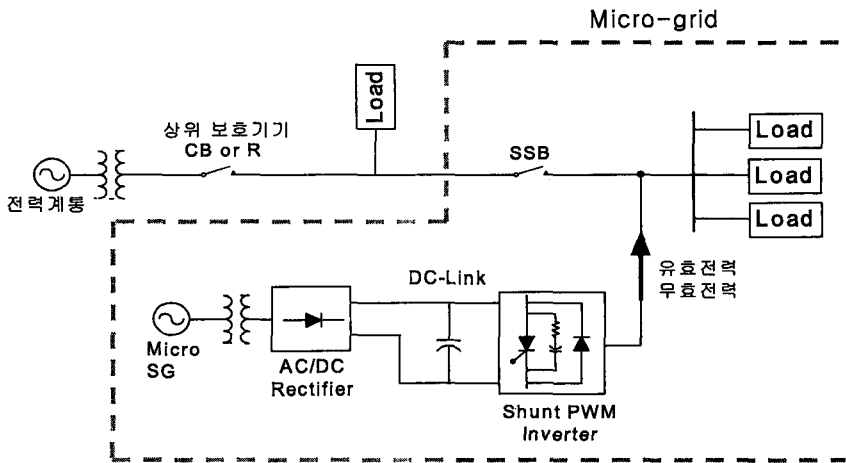


그림 1. 제안된 Micro-grid의 기본 구조(Topology)

- a. 전압, 주파수의 허용범위내에서 연계계통이 정상적으로 운전될 경우, 연계운전할 수 있되, 역조류도 허용되나, 비정상상태시는 역조류가 허용되지 않는다.
- b. 연계계통의 전력품질을 저하해서는 안된다.
- c. 연계계통의 사고시, 즉시 분리되도록 한다.
- d. 연계계통으로부터의 전원공급이 중지되었을 경우, 즉시 분리되도록 한다.

상기의 기본 조건에서 먼저, a와 b의 경우에 대해서 살펴 보도록 한다. Micro-grid는 전원과 부하와 기타 보상제어장치 등으로 구성되어, 구내부하에 항상 고신뢰 고품질의 전력을 공급해야함과 동시에 필요에 따라서는 재정적 수익을 위하여 연계계통과 전력을 거래하여야 하므로 Micro-grid로부터 연계계통으로 전력을 판매하는 역조류가 허용되어야 한다. 이러한 정상상태의 연계운전에서는 연계계통의 전력품질을 저하시켜서는 안되므로 역류유지를 위한 무효전력보상, 고조파왜율유지를 위한 고조파보상 등의 운전능력이 필요하다. 그러나, 비정상상태 발생시는 이를 즉각적으로 중지할 필요가 있다. c의 경우는 Micro-grid로부터 계통고장점에 대한 고장전류의 공급이 이루어지므로 기존 계통의 보호방식에 영향을 미쳐 신속한 고장구간의 분리를 불가능하게 한다. d의 경우는 사고 직후 상위 차단기(CB 또는 리클로우저)의 재폐로 직전 및 선로유지보수시의 인위적 선로차단상태시 발생할 수 있는 Micro-grid의 전력공급에 의한 단독운전상태 방지를 위해서 필요하다. 이와 같은 연계계통의 비정상상태시 상기의 조건들을 만족하기위해서 IEEE Std. 1547 및 한국 전력 분산전원 계통연계기준에서는 비정상상태시 계통으로부터 즉각 분리되도록 하는 조건을 표 1과 같이 제시하고 있다.

표 1. 비정상상태시 나타나는 전압에 대한 분산전원의 연계계통분리시간

전압 범위 (기준 전압에 대한 비율 %)	분리 시간 (초)
V < 50	0.16
50 ≤ V < 88	2.00
110 < V < 120	1.00
V ≥ 120	0.16

전술의 분산전원 계통연계조건을 만족하면서 Micro-grid 구내부하에 대하여서는 항상 고신뢰 고품질의 전력을 공급할 수 있는 다음과 같은 2가지의 운전모드를 제안한다.

i) 연계운전모드:

정상상태에서는 Micro-grid 구내 및 연계계통에 전력을 공급하되, 연계점에서의 역할 및 고조파왜율을 규정범위내로 유지하기 위하여 무효전력보상 및 고조파보상운전을 동시에 수행하도록 인버터를 제어한다. 이 때, 소용량 마이크로 동기발전기의 출력제어는 인버터가 요구하는 대로 출력을 낼 수 있도록 하는 부하추종운전의 정주파수 운전모드로 한다. 한편, 계통에서 발생하는 비고의적 단독운전현상을 검출하는 기능으로서 무효전력변동을 최대치 5%인 삼각파형태로 주어 0.5초내로 검출하여 SSB로 하여금 계통과 분리되도록 한다.

ii) 독립운전모드:

순시저전압, 순시과전압, 순간정전, 과주파수, 부족주파수의 현상이 발생할 경우 이를 즉각 검출하여 SSB에 의하여 1/2 사이클이내 연계계통과 분리되도록 하고, 인버터는 즉각 Microgrid 구내부하를 담당하여 운전할 수 있는 정전압정주파수의 부하추종운전모드로 전환한다. 이 때, 소용량 마이크로 동기발전기의 출력제어는 연계운전모드와 동일하게 한다.

따라서, 본 논문의 Micro-grid의 운전제어 알고리즘을 다음과 같이 정리될 수 있다.

- Step 1. Micro-grid는 정상상태에서 연계운전모드로 운전하되, 역조류 및 출력제어를 수행한다. 역률조정을 위한 무효전력제어, 고조파보상을 위한 고조파보상운전을 병행한다.
- Step 2. 전압이상 또는 비고의적 단독운전을 검출하게 되면 SSB에 분리하도록 명령하고, 인버터 독립운전모드로 전환한다.
- Step 3. 정상상태가 검출되면 SSB 투입되면서 연계운전모드로 전환하여 운전한다.

#### 4. Micro-grid의 구성요소 모델링방법

##### 가. 동기발전기

동기발전기의 주요 역할은 Micro-grid의 DC link부분에 전력을 공급하는 것으로서, 이 DC link 전압은 인버터가 그 축적된 에너지를 사용함으로써 낮아지게 된다. DC link 전압 V<sub>dc</sub>와 축적된 에너지E와의 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_{dc} - V_{min})^2 \tag{1}$$

여기서,  $V_{min}$  은 인버터의 정상동작에 필요한 DC link 전압의 최소치를 나타낸다. 이 DC link 전압을 제어하기 위하여 AVR(Automatic Voltage Regulator) 및 가버너가 장착된 동기발전기를 참고문헌 [7], [8]를 고려하여 모델링 하였다.

**나. 연계운전모드의 인버터**

연계운전모드의 인버터의 제어는 순시전력이론(Instantaneous Power theory)을 이용하여 구현할 수 있다.[9] 순시전력이론은 순시전력(Instantaneous Power)과 순시가상전력(Instantaneous Imaginary Power)으로부터 인버터를 통하여 주입하여야 하는 전압과 전류의 기준값을 만드는 것을 용이하게 한다. 만약 영상성분을 무시한다면, 전통적인 3상 순시전력( $p$ )과 순시가상전력( $q$ )는  $\alpha$ - $\beta$  축상에서 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} p &= v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta} \\ q &= v_{\alpha} \cdot i_{\beta} - v_{\beta} \cdot i_{\alpha} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $V_{\alpha}$ ,  $V_{\beta}$ 와  $i_{\alpha}$ ,  $i_{\beta}$ 는 각각  $\alpha$ - $\beta$  축상에서의 전압과 전류를 의미한다.

a-b-c 축에서의 전압을 축으로 축변환하는 식은 식(3)과 같다. 전류의 변환식도 동일하다.

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha} \\ v_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

일반적으로 단상회로에서 순시전력을 계산해 보면 유효전력 성분( $P=VI\cos\theta$ )과 무효전력 성분( $Q=VI\sin\theta$ )의 두 개의 항이 계산된다. 그러나 평형 3상 회로에서의 순시전력을 계산해 보면 무효전력 성분은 사라지고 유효전력 성분( $P=3P1$ )만 남게 된다. 그래서 기존의 순시전력 계산방법은 무효전력에 대한 정보를 전혀 줄 수 없다. 그런데 이 경우에 순시가상전력을 계산해 보면, 단상회로의 순시전력에서 계산되었던 무효전력의 3배에 해당하는 성분( $Q=3Q1$ )이 결과로 나오게 된다. 여기서 계산된 순시가상전력을 부하단에 무효전력을 공급하여 부하의 역률을 개선할 수 있다.

만약 3상 회로에 불평형 성분이나 고조파 성분이 존재하면 순시전력과 순시가상전력에 식 (4)와 같은 진동하는

AC 성분이 나타나게 된다.

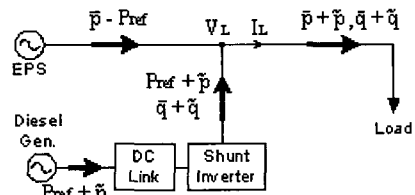
$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $\bar{p}$ 와  $\tilde{p}$ 는 순시전력의 DC와 AC 성분이고  $\bar{q}$ 와  $\tilde{q}$ 는 순시가상전력의 DC와 AC성분이다

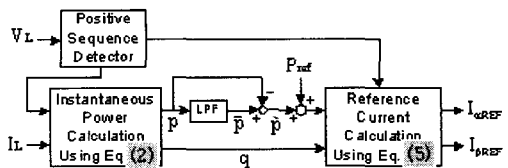
그림 2는 연계운전모드에서 제어신호를 만드는 과정을 보여준다. Micro-grid에서 고조파 전류, 역률 등의 문제를 해결하기 위해서는 인버터 제어를 통해  $\tilde{p}$ ,  $\tilde{q}$  및  $\bar{q}$ 를 보상해야만 한다.[9][10] 또한, 계통과 부하의 전력을 분담하기 위해 인버터를 통해 식(4)의  $p$  대신에  $P_{ref}$ (정상상태 출력 유효전력) +  $\tilde{p}$  값을 조정할 수 있어야 한다. 그러므로 인버터를 통해 주입되는 기준전류는 식 (2)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha REF} \\ i_{\beta REF} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} P_{ref} + \tilde{p} \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서  $i_{\alpha REF}$ ,  $i_{\beta REF}$ 는  $\alpha$ - $\beta$  축상에서 보상해야 할 기준전류이고  $V_{\alpha}$ ,  $V_{\beta}$ 는 병렬 인버터가 계통에 접속된 부분에서의 전압의 기본파 성분이다.

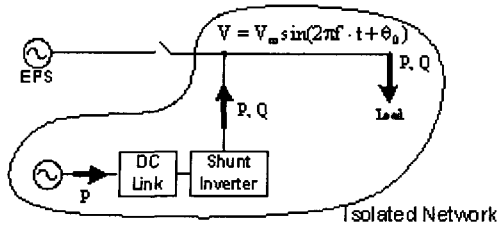


(a) 연계계통과 Micro-grid간의 순시전력흐름도

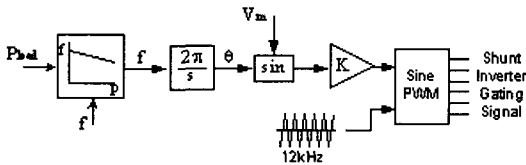


(b) 인버터기준전류계산블럭도

그림 2. 제안된 Micro-grid내의 인버터의 연계운전모드 제어신호 모델링



(a) Micro-grid의 독립운전상태도



(b) 독립운전상태의 인버터제어블럭도

그림 3. 제안된 Micro-grid내의 인버터의 독립운전모드 제어신호 모델링

다. 독립운전모드의 인버터

독립운전모드에서의 Micro-grid의 인버터제어는 부하단의 전압을 일정하게 유지하고, 부하전력을 추종하는 두 가지의 필수적인 요구사항을 만족시키는 데에 근거를 두고 있다. 그래서 공급하는 유효전력과 무효전력은 부하상황에 따라 자동적으로 결정된다. 그림 3에서와 같이 SSB가 열려 있는 상태에서는 인버터를 통해서만 부하에 전력을 공급하고 부하단의 전압을 조절할 수 있다. 독립운전모드에서 인버터의 출력이 되는 기준전압은 식 (6)과 같다.

$$V_{shunt} = V_m \sin[\theta(t)] \tag{6}$$

여기서  $V_m$ ,  $\theta(t) = 2\pi ft + \theta_0$ 는 각각 부하단의 기준 전압의 크기와 위상각을 나타낸다.  $V_m$ 은 일정한 크기이고  $\theta(t)$ 는 Droop 제어에 의해 결정된다.[11]

5. 사례연구

모델계통은 그림 4를 기준으로 하여 PSCAD/EMTDC로 모델링 하였고, 그 회로정수는 다음의 표와 같이 하였다.

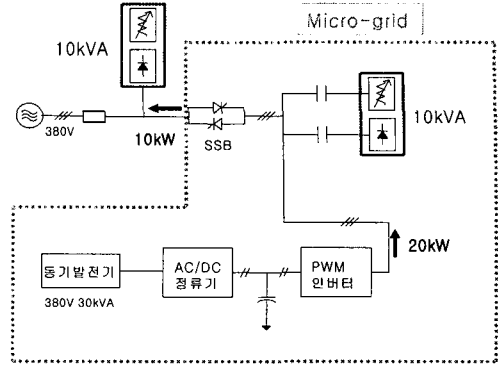


그림 4. 시뮬레이션 대상의 Micro-grid 계통

표 2. Micro-grid 및 연계계통의 회로정수

전원전압		380V, 60 Hz
전원측 임피던스		0.001 Ω, 10 mH
직류커패시터		3300 μF
DC 기준전압		700 V
인버터 필터 L, C		600 μH, 40 μF
Micro-grid 구내부하 (10kVA)	다이오우드정류기부하 R, L	20 Ω, 1 mH
	선형부하 R, L	40 Ω, 50 mH
계통측 부하(10kVA)	다이오우드정류기부하 R, L	20 Ω, 1 mH
	선형부하 R, L	40 Ω, 50 mH

시뮬레이션 대상의 운전상태는 먼저 Micro-grid 구내 부하(Pload) 10 kW, 계통측부하 10kW를 연계계통에서 모두 공급하는 것으로 하였다. 이 때에는 그림 5에서 Micro-grid인버터출력(Pinv)이 0kW, 연계점에서 Micro-grid 쪽으로 공급하는 전력(Psrc)가 10kW임을 알 수 있다. 점차로 Micro-grid인버터 출력이 증가하여 Pinv 20kW일 경우, Micro-grid 쪽에서 연계계통으로 공급하는 전력이 10kW 즉, Psrc가 -10kW(역조류)으로 됨을 알 수 있다.

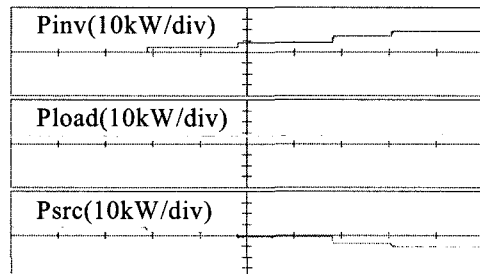
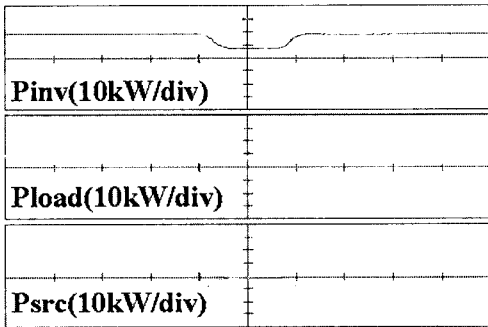
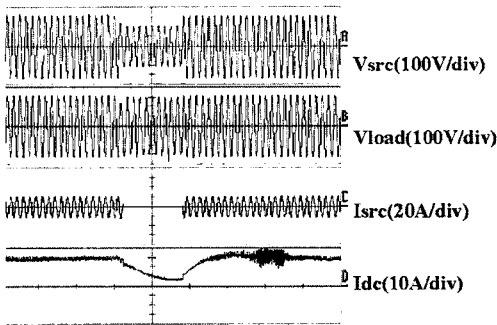


그림 5. Micro-grid의 출력특성

그림 6에서는 역조류 10kW가 있는 상태에서 약 10사이클의 순시전압강하가 발생하였을 시, 1/2사이클내로 Micro-grid는 연계계통과 분리되어 구내부하에 계속적으로 전력을 공급할 있는 독립운전상태로 운전되고 있음을 보이고 있다. 그림 (a)에서는  $P_{inv}$  20kW로 운전하고 있는 상황에서 순시전압저하발생시 계통과 분리되면서 그 독립운전출력이 10kW로 감소되고, 다시 정상복귀되었을 경우 다시 20kW로 연계운전하고 있음을 알 수 있다. 그림 (b)는 연계계통전압( $V_{src}$ ), Micro-grid 구내부하 전압( $V_{load}$ ), 연계점에서의 전류( $I_{src}$ ), DC link 전류( $I_{dc}$ )를 각각 나타내고 있다.



(a) 전력의 변화특성

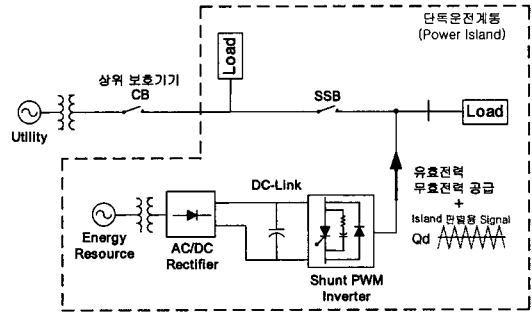


(b) 전압의 변화특성

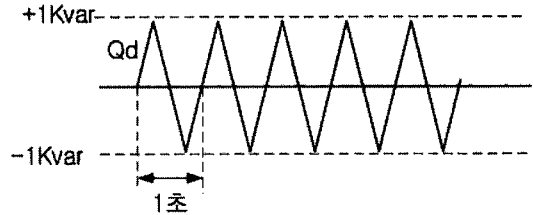
그림 6. 연계계통 30% 순시전압강하후 복귀시 Micro-grid 계통의 운전특성

다음에는 단독운전검출기능을 시뮬레이션하여 보았다. 조건은 구내부하를 10kW 비선형부하와, 6.2kvar의 Reactive 부하로 구성하고, 계통부하는 10kW의 순수저항 부하로 구성하였다. 인버터에서는 20kW의 정출력을 내면서 무효전력을 보상하도록 하였다. 단독운전은 계통측의 차단기(CB(Circuit- Breaker))를 강제로 트립시켜서 구현하였다. 시뮬레이션은 인버터의 출력과 Power Island의 Power Mismatch가 거의 없는 경우를 대상으로 하여 그림

7과 같은 무효전력변동방식을 적용하였다.



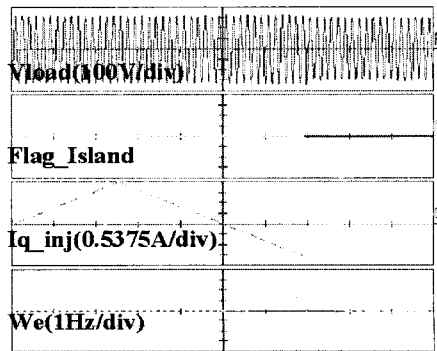
(a) 단독운전 조건설정



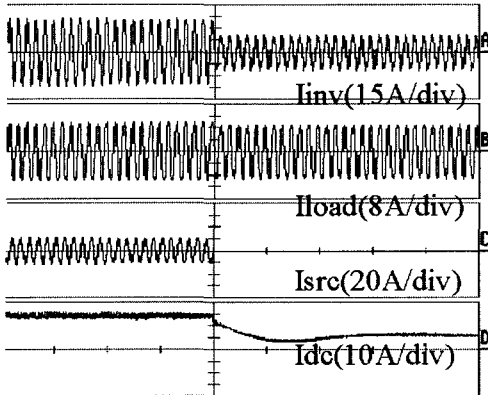
(b) 단독운전 검출용 무효전력변동신호

그림 7. 단독운전 시뮬레이션 조건

그림8의 (a) 에서 볼 수 있듯이 단독운전이 발생하기 전에 C에서처럼 삼각파 형태로 PCS가 무효전력을 공급하고 있음에도 Micro-grid구내부하의 전압인 A에서의 전압은 거의 영향을 받지 않는다. 역시 D의 시스템 주파수도 일정한 값을 유지한다. 그러다가 단독운전이 발생하면서 D의 시스템 주파수는 급격히 상승하여 61..5Hz 이상의 트립 점에 다다르면 B에서처럼 단독운전이 검출된다. 단독운전이 검출되자마자 SSB는 트립이 되고 인버터의 제어 모드는 전류제어에서 전압제어로 바뀌게 된다. 그래서 A의 전압 및 B의 주파수가 다시 정상 값으로 회복되고 독립운전 상태로 가게 된다.



(a) 단독운전발생시 전압 주파수 특성



(b) 단독운전발생시 검출후 독립운전특성

그림 8. 단독운전발생검출후 단독운전모드에서의 운전특성

## 6. 결론

본 논문에서는 정상시에는 연계되어 있는 전력계통과 전력을 쌍방간 거래를 할 수 있고, 비정상상태시에는 신속하게 연계계통과 분리되고 동시에 Micro-grid 구내부하에 독립적으로 전력을 안정하게 공급할 수 있는 Micro-grid의 기본구조(Topology)를 소형동기발전기(Micro Synchronous Generator), 정류기(Rectifier), 대용량 커패시터, PWM인버터, SSB(Solid State Breaker)로 구성하였고, 이의 모델링 방법 및 운전제어 알고리즘을 제안하였다. 또한, 이의 타당성을 입증하기 위하여 제안된 Micro-grid를 모델계통에 연계하여 정상시 및 비상시에 대한 시뮬레이션을 수행함으로써 연계운전 및 독립운전시 안정하게 전력을 공급할 수 있음을 입증하였다.

## 참고문헌

[1] Robert Lasseter, et al., "Integration of Distributed Energy Resources; The CERTS Microgrid Concept", LBNL-50829, Office of Power Technologies, U.S. Department of Energy, April, 2002.

[2] Katiraci, F; Irvani, M.R.; Lehn, P.W., "Micro-grid autonomous operation during and subsequent to 단독운전 process", Power Delivery, IEEE Transactions on Vol. 20, Issues 1, pp. 248-257, Jan 2005.

[3] Yun Wei Li; Vilathgamuwa, D.M.; Poh Chiang Loh, "A grid-interfacing power quality compensator for three-phase three-wire Micro-grid applications", Power Electronics, IEEE Transactions on Vol. 21,

Issue 4, pp. 1021-1031, July 2006.

[4] Pogaku, N; Prodanovic, M.; Green, T.C., "Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Micro-grid", Power Electronics, IEEE Transactions on Vol. 22, Issue 2, pp. 613-625, March 2007.

[5] J. Hasegawa, et al., "FRIENDS에 있어서의 전력개질 센터의 내부구성", 일본전기학회 논문지B, 118-B권 11호, pp. 1292-1301, 1998.

[6] 기초전력공학공동연구소, 다품질배전시스템에 관한 기초연구, 중기-01, 2000. 9.

[7] Kundur, P, Power System Stability and Control, Chapter 4, McGraw-Hill Inc, 1993

[8] Gish. W.B, "Small induction generator and synchronous generator constants for DSG isolation studies," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.1, April 1986, pp. 231-239.

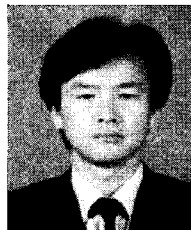
[9] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components," IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 1A-20, No.3, May/June 1984, pp. 625-630.

[10] Aredes. M, K. Heumann, and E.H. Watanabe, "An universal active power line conditioner," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.2, April 1998, pp. 545-551.

[11] Barsali. S, M. Ceraolo, P. Pelacchi and D. Poli, "Control techniques of dispersed generators to improve the continuity of electricity supply," PES Winter Meeting IEEE 2002, Vol. 2, pp. 789-794.

김재언(Jae-Eon Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 한양대학교 전기공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1996년 3월 : 일본 교토대학교대학원 전기공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/배전연구팀장
- 1998년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, 컴퓨터정보통신연구소 부교수

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 고려대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월: 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1998년 9월 ~ 현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석