

# 마이크로그리드 적용을 위한 마이크로터빈 기반 마이크로소스의 EMTP 모델링과 동특성 시뮬레이션

|        |
|--------|
| 論 文    |
| 58-1-8 |

## EMTP Modeling and Dynamic Analysis of Microturbine Based Microsource for Application to Microgrid

鄭太永\* · 白榮植†  
(Tae-Young Jyung · Young-Sik Baek)

**Abstract** - Microgrid supplies loads with power interconnected grid. And it is defined a independent power system compounded microsources over two devices which have enough capacity to operate independently, storage devices and loads. The energy sources of microsource have different dynamic characteristics corresponding to classes and application skills. However their transient responses are various from a few seconds to minutes. Therefore it is limitation for understanding operation characteristics of microsource modeling constant voltage source or constant current source. This paper shows that we designed EMTP/RV model of microsource which is microturbine based energy source. And we performed dynamic analysis of microsource corresponding to operation mode of microgrid.

**Key Words** : Microgrid, Microturbine, EMTP/RV, PMSG

### 1. 서 론

지구환경 보호와 화석연료의 고갈에 대비하여 전 세계적으로 신재생에너지 전원의 개발 및 보급이 가속화되고 있다. 신재생 에너지 전원은 소규모 용량으로 주로 부하 밀집 지역인 배전계통에 연계하여 운전되는 경우가 많다. 산업의 발전 및 생활수준의 향상으로 고품질 전력공급의 요구가 증대되고 있는 상황에서 배전계통에 연계된 분산전원들은 전력계통을 일관되게 제어하는데 문제를 유발하기도 한다. 이러한 이유로 선진국에서는 신재생에너지 전원으로 구성된 마이크로그리드(MicroGrid)에 대한 연구가 진행되어 왔다.

마이크로그리드는 계통에 연계되어 부하에 전력을 공급하게 되며, 필요에 따라 독립운전이 가능하도록 충분한 용량을 가진 2대 이상의 마이크로소스(MicroSource)와 저장장치, 그리고 부하가 혼재된 하나의 독립적인 전력망으로 정의한다 [1][2]. 마이크로그리드는 어떠한 형태의 에너지 전원도 마이크로그리드 계통에 연결시킬 수 있어야 하며, 새로운 에너지 전원의 추가로 인해 보호협조, 신뢰도, 전력품질 문제 등 기존 계통의 운용에 영향을 주지 않아야 한다. 그리고 계통측 사고로 인한 보호기기의 동작으로 마이크로그리드가 계통과 분리되면, 마이크로소스들은 마이크로그리드 내 부하들의 전력수요를 담당하여야 하며 전력품질을 유지하면서 운전되어야 한다. 이러한 이유로 마이크로그리드는 소규모 풍력발전이나 태양광 발전과 같이 발전량이 외부 요인에 의해 결정되는 마이크로소스들만으로는 구성이 어렵다. 따라서 마이

크로터빈(Micro Turbine)이나 연료전지(Fuel Cell)와 같이 일정한 출력이 가능한 마이크로소스와 병렬 운전하거나 일정한 출력이 가능한 마이크로소스들만으로 마이크로그리드를 구성하게 된다.

마이크로소스의 에너지원은 종류에 따라, 또 적용 기술에 따라 그 동특성이 달라지는데 과도응답은 수초에서부터 수분까지 다양하기 때문에 정전압원이나 정전류원으로 모델링하여 마이크로소스의 운전 특성을 파악하는 것은 제한이 있다. 이 논문에서는 마이크로그리드 실증 단지(KNU-Grid) 구축에 앞서 마이크로그리드의 운전형태에 따른 마이크로소스의 운전 동특성을 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 기존의 제어기 연구에 사용되는 정전원 모델은 마이크로터빈과 발전기의 동적 모델링으로 대체하였고 마이크로터빈 기반 마이크로소스와 마이크로그리드는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 EMTP/RV를 이용하여 모델링하고 시뮬레이션 하였다.

### 2. 본 론

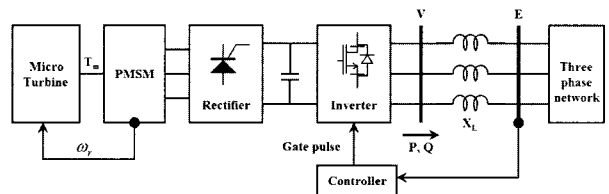


그림 1 마이크로터빈 기반의 마이크로소스 구성도  
Fig. 1 Typical structure of microturbine based microsource

마이크로터빈을 에너지원으로 한 마이크로소스는 그림 1에서와 같이 마이크로터빈, PMSG(Permanent Magnet

\* 正 會 員 : 慶北大學 電子電氣工學部 博士課程  
† 교신저자, 正會員 : 慶北大學 電子電氣工學部 正教授 · 工博  
E-mail : ysbaek@knu.ac.kr  
接受日字 : 2008年 10月 10日  
最終完了 : 2008年 12月 5日

Synchronous Generator:영구자석동기발전기), 컨버터, DC 커패시터, 인버터로 구성되며, 원하는 성능을 얻기 위해서는 각 부분의 정격이 서로 연관성 있게 설계되어야 한다. 마이크로터빈의 출력은 PMSG의 각속도를 통해 제어되며, PMSG에 의해 전력으로 변환된다. 높은 주파수(수백Hz~수 kHz)의 PMSG의 출력은 마이크로그리드와 직접 연결되지 않고 컨버터를 거쳐 DC로 변환된다. DC 직류전압 링크단에는 마이크로그리드가 계통과 분리되어 운전시 부하변동에 따른 에너지원과 부하사이의 에너지 균형을 위해 충분한 용량의 DC 커패시터나 저장장치가 있어야 한다. 전압형 인버터는 DC 를 AC로 변환하며 마이크로소스 운용의 주요 핵심부이다. 인버터 제어기는 별도의 통신장치 없이 시스템의 변동에 효과적으로 응답할 수 있도록 설계하여야 한다. 마이크로소스는 인덕터를 통하여 마이크로그리드와 연결되는데, 아래 식(1)~(3)과 같이 유효전력은 부하각  $\delta_p$ 에, 무효전력은 인버터의 출력전압 V의 크기에 의존하므로 전압형 인버터의 출력전압 크기와 위상을 제어한다[1].

$$\delta_p = \delta_i - \delta_E \quad (1)$$

$$P = \frac{VE}{X_L} \sin(\delta_p) \quad (2)$$

$$Q = \frac{V^2 - VE}{X_L} \cos(\delta_p) \quad (3)$$

여기서,  $\delta_p$  : 부하각(power angle), V : 인버터의 출력전압, E : 계통전압

### 2.1. 마이크로터빈

마이크로터빈은 기본적으로 단일축방식과 복합축방식의 두 가지 타입이 있다. 단일축 방식은 압축기와 터빈이 발전기와 같은 축으로 연결되어 회전한다. 터빈은 100,000rpm이상의 빠른 속도로 회전하기 때문에 발전기에서는 높은 주파수(kHz)의 전력이 발생한다. 마이크로터빈의 EMTP/RV 모델은 Rowen의 수학적 가스터빈 모델을 기반으로 모델링 하였다[3][4].

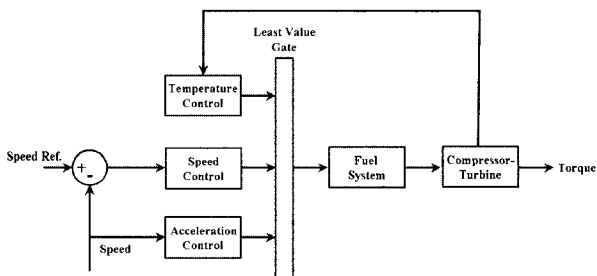


그림 2 마이크로터빈의 구성도  
Fig. 2 Block diagram of Microturbine

마이크로터빈은 그림 2에서 보는것과 같이 속도, 온도, 가속도 제어를 통하여 운전된다. 속도 제어기는 부분부하 운전 상태에서 마이크로터빈을 제어하고, 가속도 제어기는 터빈이 시동하는 동안 운전속력에 도달하기 앞서 회전자의 가속도를 제한하는데 사용하거나 시스템으로부터 터빈 발전기

가 분리되었을 때 가속도를 제한하는데 사용한다. 온도제어기는 주위 온도변화나 연료의 특성에 독립적으로 미리 정해진 연소온도로 마이크로터빈의 출력을 제한한다. 마이크로터빈의 3가지 제어는 LVS(Low value selector)를 거쳐 가장 작은 입력값을 선택하게 된다. 마이크로터빈의 연료공급 시스템은 연료 벨브와 액추에이터로 구성 되어 있고 모델링에 사용한 전달함수는 식 (4)~(5)와 같다[5].

$$\text{벨브 위치 조정장치의 전달함수} : E_f = \frac{K_f}{T_f s + c} F_d \quad (4)$$

$$\text{연료 시스템 액추에이터 전달함수} : W_f = \frac{K_f}{T_f + c} E_f \quad (5)$$

여기서  $K_f, K_f$  : 이득(=1, 1),  $T_f, T_f$  : 시정수(=0.05, 0.04), C : 상수(=1),  $F_d, E_f$  : 벨트 위치 조정장치의 입,출력,  $W_f$  : 연료요구신호(p.u.)

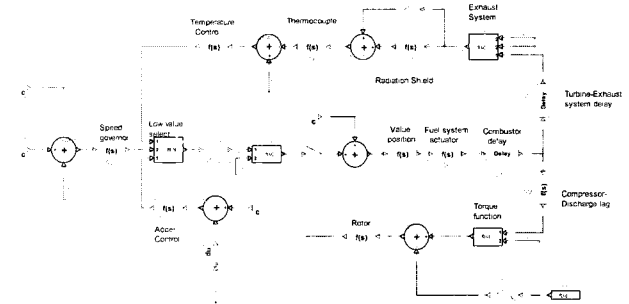


그림 3 EMTP/RV를 이용한 마이크로터빈 모델링  
Fig. 3 Microturbine modeling to use EMTP/RV

그림 3은 마이크로터빈의 제어기와 연료공급 시스템이 포함되어 PMSG이 분리된 마이크로터빈의 EMTP/RV 모델이다. 터빈의 동특성 파라미터는 Rowen의 Model series 5&6을 사용하였고, 조속기 전달함수 계수는 Rowen 모델의 Droop 타입을 사용하였다. Droop 설정은 2~10%까지 설정 가능하며, 여기서는 4%로 설정하였다.

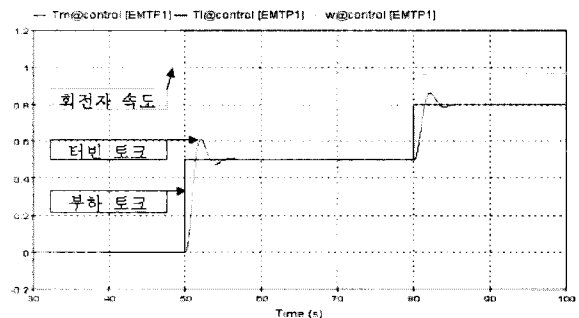


그림 4 마이크로터빈의 출력 특성  
Fig. 4 Microturbine output characteristic

모델링한 마이크로터빈의 동특성을 알아보기 위하여 50s까지 무부하 운전을 하다가 50s부터 80s까지 30s 동안 부하토크를 0.5PU로 운전하였고 80s이후에는 0.8PU로 운전하였다. 그림 4는 마이크로터빈의 EMTP/RV 시뮬레이션 결과를

나타낸다. 모델링한 마이크로터빈의 출력 토크는 부하토크의 변화에 따라 증가하며 8s정도의 과도응답 특성이 나타났다. 회전자속의 속도는 Droop 특성에 따라 감소한다.

2.2. PMSG

PMSG는 유도기에 비해 회전자 회로의 동손이 없으므로 효율이 좋고, 운전성과 유지보수성이 좋아 소규모 전력공급에 유리하다. PMSG의 계자 자속은 영구자석에 의해 일정하게 공급되므로, 영구자석을 일정한 크기의 전류원으로 모델링할 수 있다. 이때 d-q 좌표변환에 의한 PMSG의 고정자 전압 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$V_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_e L_{qs} i_{qs} + L_{ds} \frac{di_{ds}}{dt} \tag{6}$$

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_e L_{ds} i_{ds} + \psi_f \omega_e + L_{qs} \frac{di_{qs}}{dt} \tag{7}$$

$$T_e = \frac{3P}{4} [\psi_f i_{qs} + (L_{ds} - L_{qs}) i_{ds} i_{qs}] \tag{8}$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - T_{shaft}) \tag{9}$$

여기서,  $\omega_e, \omega_r$  : 회전자속 (rad/sec),  $V_{ds}, V_{qs} (i_{ds}, i_{qs})$  : d, q 축 전압 (전류),  $L_{ds}, L_{qs}$  : 고정자의 d, q축 인덕턴스,  $R_s$  : 고정자 저항,  $\psi_f$  : 누설자속,  $J$  : 회전자의 관성,  $T_{shaft}$  : 마이크로터빈과 연결된 회전축 토크(Nm),  $T_e$  : PMSG에 의해 생성되는 전기적 토크 (Nm),  $P$  : 극수 터빈 회전축 토크의 부호에 따라 양수이면 전동기로 동작하고, 음수이면 발전기로 동작한다. 이 논문에서는 EMTP/RV 라이브러리에서 제공된 PMSG 모델을 기반으로 하였고, 정격 및 설계 파라미터는 아래 표 1과 같다.

표 1 영구자석동기발전기의 파라미터

Table 1 PMSG parameters

| Parameter                         | Value                     |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Rated Power [kVA]                 | 60                        |
| Rated Voltage[Vrms_LL]            | 480                       |
| Rated Frequency[Hz]               | 1066.67                   |
| Number of poles                   | 2                         |
| Stator Flux-linkage[Wb]           | 0.077685                  |
| Stator Resistance[Ω]              | 0.0201                    |
| d-axis Inductance[mH]             | 0.2582                    |
| q-axis Inductance[mH]             | 0.2582                    |
| Rotor Inertia[kg-m <sup>2</sup> ] | 0.848595×10 <sup>-3</sup> |

2.3. 마이크로소스 제어

마이크로그리드가 계통과 연계 운전 할 경우, 전력의 수급균형은 계통에 의해 조절되므로 경제성을 목표로 하는 제어를 제외한 마이크로소스에서의 제어는 사실상 필요가 없다. 그러나 계통에 이상이 발생하여 마이크로그리드가 독립운전을 하게 될 경우 마이크로소스와 부하간의 수급균형을 맞추기 위한 유효전력 제어는 필수적이 된다. 따라서 마이크로소스 제어기는 마이크로그리드의 운전 형태나 시스템

의 변동에 대해 신속하고 효과적으로 응답할 수 있어야 하며, 유효전력의 독립적인 제어가 가능하여야 한다.

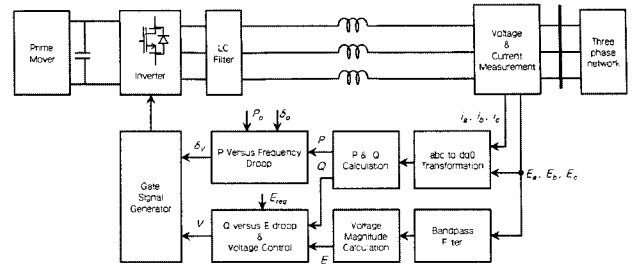


그림 5 마이크로소스의 제어 개념도

Fig. 5 Microsource control

마이크로소스의 제어 입력은 부하측 전압 및 인버터 전류이다. 이 값으로부터 부하전압의 크기와 위상, 전원으로부터 공급되는 유효전력이 계산된다. 유효전력  $P$ 는 기준전력  $P_0$ 가 되도록 제어 되며, 무효전력  $Q$ 는 기준전압  $E_{ref}$ 을 유지하도록 제어된다.

2.3.1 전력 계산

전력은 그림 5에서의 같이 측정된 3상 전압, 전류 값의 d-q 좌표 변환을 통하여 계산된다.  $\theta = \omega_e t$  일 때 d-q 좌표 변환에 의한 유효전력은  $P = v_d i_q + v_q i_d$ , 무효전력은  $Q = v_d i_q - v_q i_d$ 로 구해진다. 구해진 전력 값은 제어를 위해 p.u.로 변환된다.

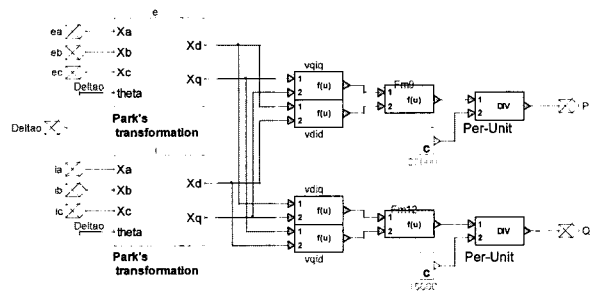


그림 6 전력계산을 위한 EMTP/RV 모듈 개발

Fig. 6 EMTP/RV module development for Power calculation

2.3.2 전압크기 계산

측정된 3상 전압은 식 (10)~(12)와 같이 d-q 정지좌표계 변환을 이용하여 크기가 계산되고 선간 rms전압 0.48kV를 기준전압으로 하여 p.u.값으로 변환된다.

$$e_{ds}(t) = \frac{e_c(t) - e_b(t)}{\sqrt{3}} \tag{10}$$

$$e_{qs}(t) = \frac{2}{3} (e_a(t) - \frac{1}{2}e_b(t) - \frac{1}{2}e_c(t)) \tag{11}$$

$$E = \sqrt{e_d^2 + e_q^2} \tag{12}$$

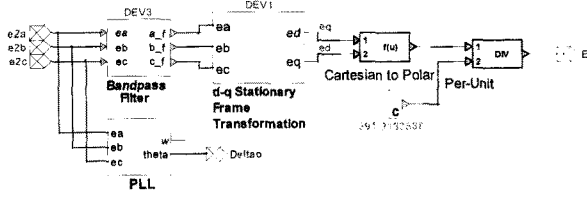


그림 7 전압크기 계산을 위한 EMTP/RV 모듈 개발  
Fig. 7 EMTP/RV module development for Voltage magnitude calculation

2.3.3 유효전력 및 전압제어

마이크로그리드가 계통과 연계운전 하는 경우 마이크로그리드 내부 부하에서 소모되는 유효전력( $P_L$ )은 마이크로소스에서 공급되는 유효전력( $P_{MS}$ )과 계통에서 공급되는 유효전력( $P_V$ )의 합이 된다. 이때  $P_{MS} \leq P_L$ 이 되면 외부 계통에서 전력이 공급되며,  $P_L \leq P_{MS}$ 가 되면 외부로 전력이 역송된다. 그러나 계통측 사고로 인하여 계통전원이 상실될 경우 마이크로그리드는 독립운전 모드로 전환되며  $P_L = 0$ ,  $P_{MS} = P_L$ 이 되어 마이크로소스가 마이크로그리드 내 부하의 전력수요를 모두 담당하여 운전하게 된다. 마이크로그리드가 계통으로부터 분리되면 분리 되기전 운전 형태( $P_{MS} \leq P_L$  또는  $P_L \leq P_{MS}$ )에 따라 각 마이크로소스들은 전압위상 및 국지적인 주파수가 변하게 된다.

a) P vs frequency droop 제어

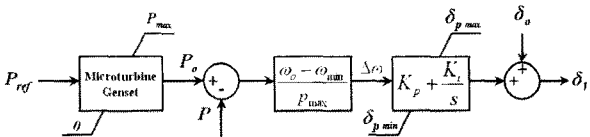


그림 8 P-Frequency droop 제어기 구조  
Fig. 8 P-Frequency droop control

유효전력 변화와 관련된 주파수 변화는 각 마이크로소스들이 급전관리자로부터 급전명령을 받지 않고도 부하를 비례적으로 분담하게 해준다. 그림 8의 제어기는 마이크로그리드의 계통연계 운전시 마이크로소스들이 일정한 유효전력 출력을 하도록 하고, 독립 운전시 유효전력에 대한 주파수 droop 특성곡선의 기울기  $((\omega_0 - \omega_{min}) / P_{max})$ 에 따라 출력의 재조정량을 결정한다[1][6]. 여기서  $\omega_0$ : 계통의 각 주파수,  $\omega_{min}$ : 허용 가능한 최저 주파수,  $P_{max}$ : 마이크로소스의 최대 출력.

b) Q vs E droop 및 전압 제어

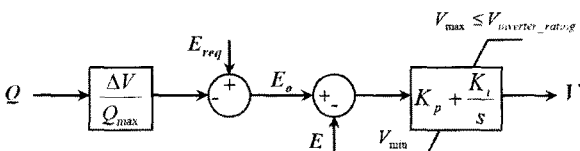


그림 9 Q-E droop을 적용한 전압제어기 구조  
Fig. 9 Voltage control (Q-E droop)

다수의 마이크로소스가 계통에 연계될 경우 P, Q 제어만으로 신뢰도와 안정도 유지가 불가능하게 되므로 전압제어를 필요로 한다. 전력계통에서는 발전기들 사이의 임피던스가 순환전류를 감소할 만큼 크다. 하지만 마이크로그리드의 경우 두 대의 마이크로소스가 전기적으로 가까이 있을 경우 작은 전압설정의 오차에도 큰 순환전류를 발생하며 출력 정격을 제대로 사용할 수 없게 된다. 이러한 이유로 Q-E droop 제어 ( $E_o = E_{req} - (\Delta V / Q_{max})Q$ )를 필요로 한다. 그림 9는 Q-E droop 제어 및 전압제어 모듈이다.  $E_{req}$ 는 노드의 원하는 전압기준 값이다. Q-E droop 제어를 적용하여 새로운 전압 기준값  $E_o$ 를 만들어 전압 제어를 한다[1][6]. 이것은 기준전압에서 약간의 전압변화를  $(\Delta V / Q_{max})$  허용하여 큰 무효전력의 출력을 줄일 수 있게 해준다. 그림 10은 EMTP/RV로 구현한 유효전력 및 전압제어 모듈을 보여준다.

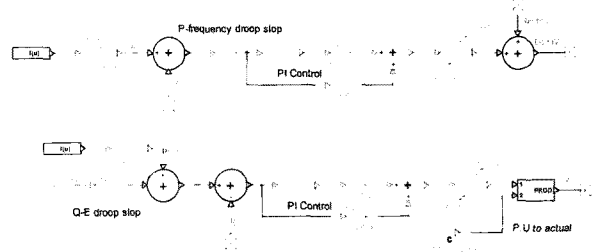


그림 10 EMTP/RV로 구현한 유효전력 및 전압크기 제어 모듈  
Fig. 10 EMTP/RV module development for P and Voltage magnitude

2.3.4 게이트 신호 발생기

인버터 각 상의 스위치를 조작하기 위한 게이트 신호 발생기는 원리가 간단하여 고전적으로 널리 사용되는 PWM(Pulse width modulation)방식을 사용하였다. 유효전력 및 전압제어에 모듈의 출력  $\delta_V$ 와  $V$ 가 인버터의 출력 기준 신호로 변환되고 그림 11에서처럼 출력 기준신호와 삼각파(2.7kHz)를 비교하여 크기의 대소에 따라 게이팅 신호를 생성한다.

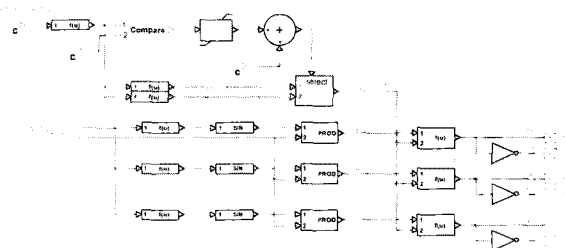


그림 11 EMTP/RV로 구현한 인버터 게이팅 펄스 생성기 모듈  
Fig. 11 EMTP/RV module development for Gate signal generator

2.4. 마이크로소스 EMTP 모델

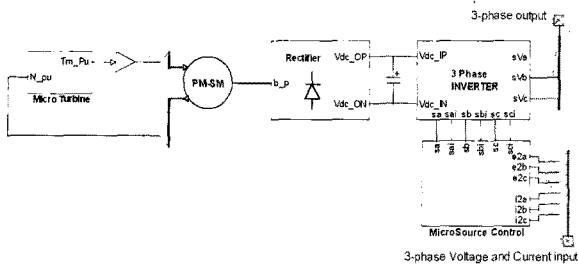


그림 12 EMTP/RV로 개발된 마이크로소스의 구성도  
Fig. 12 Internal model of microsource in EMTP/RV

마이크로그리드의 운전 형태에 따른 마이크로터빈 기반 마이크로소스의 운전 특성을 알아보기 위하여 개발된 마이크로소스의 EMTP/RV 모듈은 그림 12와 같이 마이크로터빈, PMSG, 컨버터, DC 커패시터, 인버터, 마이크로소스 제어기 모듈들로 구성된다.

2.5. 마이크로소스 시뮬레이션

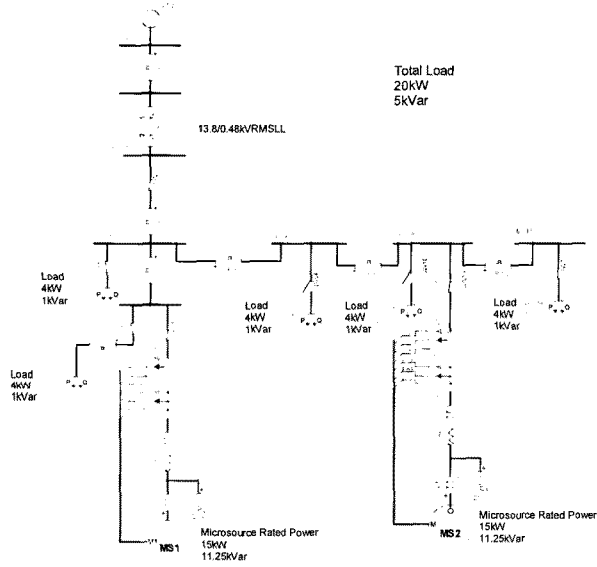


그림 13 마이크로그리드의 EMTP/RV 모델  
Fig. 13 Microgrid model in EMTP/RV

마이크로소스를 마이크로그리드에 적용하기 위해서는 계통과 연계운전 시 일정한 출력을 유지하여야 하며, 독립운전 모드로 전환 시 마이크로그리드 내 부하의 전력 수요에 따라 전력품질을 유지하면서 전력이 공급되어야 한다. 모델링된 마이크로소스가 위의 조건들을 만족하는지 시험하기 위하여 그림 13에서와 같이 마이크로그리드를 모델링 하였다. 두 대의 마이크로소스는 각각 P=15kW, Q=11.25kVar의 정격출력을 가지며 계통연계 인덕턴스(1mH)를 통해 마이크로그리드와 연결되어 있다. 마이크로그리드 내 총 부하 용량은 P=20kW, Q=5kVar이고, 각각 P=4kW, Q=1kVar의 용량을 가진다. 총 시뮬레이션 시간( $t_{max}$ )은 50초이고 시뮬레

이션 타임 스텝( $\Delta t$ )은  $10\mu s$ 이다. 첫 번째 마이크로소스의 droop은 2%이고, 두 번째 마이크로소스의 droop은 4%로 설정하였다.

2.5.1 사례연구 1

마이크로그리드 내 부하(P=12kW, Q=3kVar)는 마이크로소스(MS1:0.2pu, MS2:0.4pu.)와 계통으로부터 전력을 공급받는다. 마이크로그리드는 30초에 계통과 분리되어 독립운전 모드로 전환되고, 40초에 마이크로그리드의 부하가 증가(P=20kW, Q=5kVar)한다.

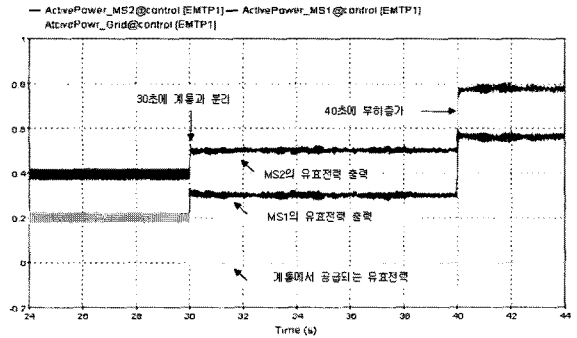


그림 14 마이크로그리드 운전형태에 따른 유효전력 출력 : 사례연구 1

Fig. 14 Study case1 : Active Power output by microgrid's operating mode

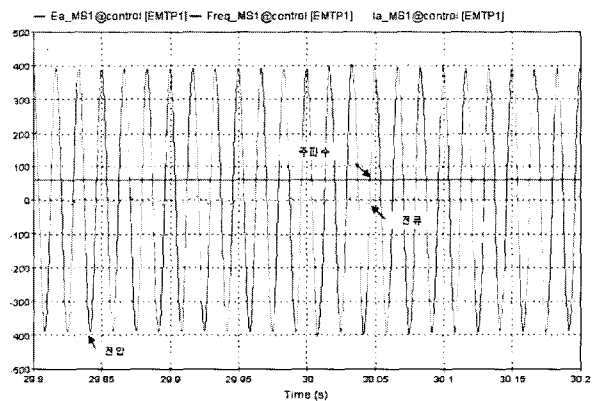


그림 15 전압, 전류, 주파수 파형 : 사례연구 1

Fig. 15 Case study 1 : voltage, current and Frequency waveform

2.5.2 사례연구 2

마이크로그리드 내 부하(P=12kW, Q=3kVar)는 마이크로소스(MS1:0.5pu, MS2:0.7pu.)로부터 전력을 공급받으며, 마이크로그리드는 잉여전력을 계통에 공급한다. 마이크로그리드는 30초에 계통과 분리되어 독립운전 모드로 전환되고, 35초에 마이크로그리드의 부하가 증가(P=20kW, Q=5kVar)한다.

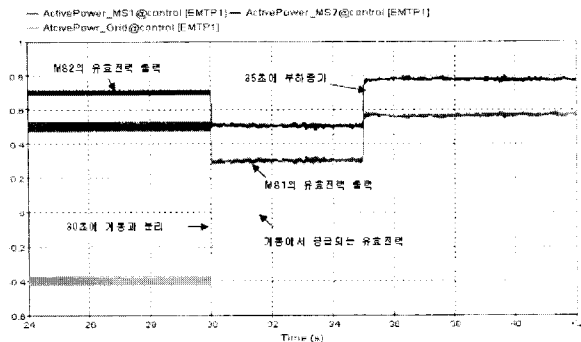


그림 16 마이크로그리드 운전형태에 따른 유효전력 출력 : 사례연구 2

Fig. 16 Study case2 : Active Power output by microgrid's operating mode

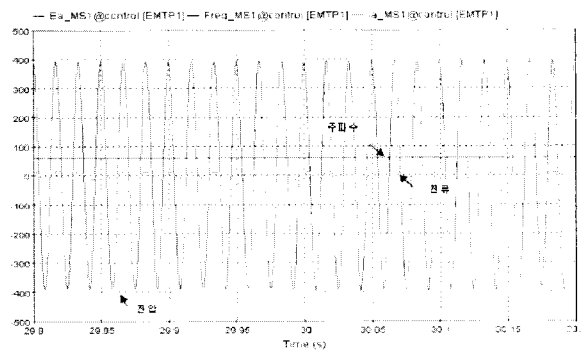


그림 17 전압, 전류, 주파수 파형 : 사례연구 2

Fig. 17 Case study 2 : voltage, current and Frequency waveform

모델링한 마이크로터빈은 최초 기동부터 정상상태까지 도달하는데 약 20초가 소요되기 때문에 결과 그래프에서는 초기 기동시간을 제외하였다. 그림 14 ~ 17은 마이크로그리드의 운전 형태와 부하변동에 따른 마이크로소스의 동특성을 보여준다.

### 3. 결론

마이크로그리드가 계통과 분리되어 독립운전으로 전환 될 경우, 또는 독립운전 시 부하가 증감할 경우에 부하에 따라 PMSG의  $\omega_r$ 이 변하게 되며,  $\omega_r$ 의 변화에 따라 실시간으로 마이크로터빈의 출력이 제어된다. 부하변동에 따른 마이크로터빈 출력토크의 동특성을 살펴보면 이 논문에서 모델링한 마이크로터빈의 경우 8~10초 정도의 과도응답을 보여주지만, 사례연구 결과를 통하여 마이크로소스 직류단에 충분한 용량의 저장장치가 있을 경우 부하변동에 따라 원동기 동특성에 따른 출력의 시간지연을 보상해 주는 것을 알 수 있다. 개발된 마이크로소스의 EMTP/RV 모델은 마이크로그리드의 운전형태와 부하변동에 따라 유효전력 및 전압제어를 통하여 운전범위 안에서 정상적으로 동작하였고, 마이크로그리드 내부에 여러 대의 마이크로소스가 존재 할 경우 정상적으로 부하분담 운전을 하는 것을 알 수 있었다. 마이크로소스의 EMTP/RV 모델은 다양한 형태의 에너지원을

가진 마이크로소스의 모델링, 향상된 마이크로소스 제어기 개발을 위한 기반이 될 것이다. 그리고 마이크로그리드가 연계된 배전계통에서 기존 보호기기와의 보호협조, 계통 전압조정 장치들과의 전압 조정협조 등 마이크로그리드의 계통연계에 따르는 제반 문제를 해석하고 해결 하는데 도움이 될 것이다.

### 감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지지원인력양성사업의 연구결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] R. H. Lasseter, "Microgrid", IEEE PES Winter Meeting, January, 2002.
- [2] Northern Power System Inc., Waltsfield,VT [http://www.northernpower.com/pdf/pr\\_Microgrid.pdf](http://www.northernpower.com/pdf/pr_Microgrid.pdf)
- [3] Amer Al-Hinai and Ali Feliachi, "Dynamic Model of a microturbine used as a distributed Generator, "Proc. of 34th South eastern Symposium on system Theory, Huntsville,Alabama, March 2002, pp.209-213.
- [4] S.R.Guda and Wang.C. and M.H.Nehrir, "A Simulink-based microturbine model for distributed generation studies, " IEEE Power Symposium, Proc.of the 37thAnnual,NorthAmerican, Oct23-25,2005, pp.269-274.
- [5] W. I. Rowen, "Simplified mathematical representations of heavy duty gas turbines," Journal of Engineering for Power, Transactions ASME, vol. 105, no. 4, pp. 865-869, Oct 1983
- [6] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Control and Design of Microgrid Components, PSERC Publication, 2006.
- [7] Y. Zhu and K. Tomsovic, "Development of models for analyzing the load following performance of microturbines and fuel cells, " Journal of Electric Power Systems Research, vol. 62, pp. 1-11, 2002.
- [8] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Microgrid : A conceptual Solution", PESC'04, Aachen,Germany, June20-25,2004.
- [9] J. D. Glover and M. S. Sarma, "Power system analysis and design", Brooks/Cole, 2002.
- [10] T.Y. Jyung, K.Y. Kwon, Y.S. Baek, and K.M. Son, "On the modeling and simulation of PMSM based Microsource for operation in a Microgrid, ICEE Conference, Japan, Jul.6-10,2008
- [11] P. M. Anderson and A. A. Fouad, "Power system control and stability", IEEE Press, 2003.
- [12] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Providing premium power through distributed resources", IEEE Conference, Hawaii, Jan4-7,2000.
- [13] J.B. Ahn, Y.H. Jeong and D.H. Kang, "Operating

characteristics of high speed PM synchronous generator for Microturbine”, KIPE Conference, Korea, Jul12-15, 2004.

[14] EMTP-RV Help Docs, <http://www.emtp.com>

## 저 자 소 개



### 정 태 영 (鄭太永)

1976년 4월 23일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2006년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006~현재 동 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정  
Tel : (053)940-8802

E-mail : sempee94@knu.ac.kr



### 백 영 식 (白榮植)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수.

Tel : (053)950-5602

E-mail : ysbaek@mail.knu.ac.kr