

**CES(지역에너지시스템)의 안정적인 계통 연계 및 독립 운전 방법에 관한 연구**

홍성민, 김광호  
 강원대학교 IT특성화학부대학 전기전자공학부

**A Study on Stable Operation of CES(Community Energy System) with Grid connection and isolation**

Seong Min Hong, Kim Kwang Ho  
 Kangwon National University

**Abstract** - 분산 전원의 기저 전원으로써 개발된 일체형 원자로(REX-10)를 지역에너지시스템에 도입하고 안정적인 운전을 하기위해서 본 논문은 전압원형 인버터를 설계하고 일체형 원자로가 변동 없이 정출력을 하도록 지역에너지시스템의 전력 변동 상황을 모니터링하여 제어하는 모델을 개발하였다. 제안된 모델의 효용성을 확인하기 위해서 PSCAD/EMTDC를 사용하였다.

1. 서 론

2008년 한 해 동안 고유가로 인하여 풍력과 태양광 등 신재생에너지가 다시 각광을 받기 시작했다. 하지만 신재생에너지는 지구의 환경에 따라 발전량이 변하기 때문에 매우 불안정한 전력 공급원이다. 그래서 전 세계적으로 환경문제로 꺼려하던 원자력 발전소를 다시 건설하기 시작했다. 그리고 대형발전에만 사용하던 원자로를 개조하여 분산전원으로 사용하려는 연구를 하였다. 그 결과 SMART(일체형) 원자로를 개발 하였으며 분산전원에서도 안정적인 전력공급이 가능하게 되었다. 그러나 일체형 원자로는 여타 화력발전과 같이 큰 부하 변동에 신속하게 반응하기가 어렵다. 그래서 본 논문은 현재 서울대학교 기초전력연구원에서 개발 중인 일체형 원자로(REX-10)를 분산전원으로 하는 지역에너지시스템(CES : Community Energy System)을 모델링하고 REX-10을 CES의 기저 전원으로 사용하면서 안정적인 계통운전을 할 수 있는 방법을 모색하였다.

2. 본 론

2.1 지역에너지시스템 모델링

지역에너지시스템은 호텔, 백화점, 대형빌딩, 상업지역, 공업지역과 같은 다수의 열 및 전기 수용가와 같은 특정한 공급구역에 수용가가 직접 전력 발전 설비로부터 에너지를 일괄 공급하는 시스템이다[1]. CES는 2~5MW의 부하로 구성된 Multiple Facility Microgrid[2]와 동일한 개념이며 현 강원대학교의 계통에 적용할 수 있다.

CES 계통 모델링을 위해서 강원대학교 계통 파라미터를 사용하였으며 CES의 분산전원으로 사용하는 REX-10은 서울대의 연구 데이터를 사용하였다.

CES는 총 부하는 4.065MVA(3.659MW,1.772Mvar)로 구성되어 있고 주 변압기를 중심으로 좌측은 REX-10 한 대와 부하로 구성되어 있고 우측은 REX-10과 계통

연계형 인버터 각각 한 대와 부하로 구성되어 있다.

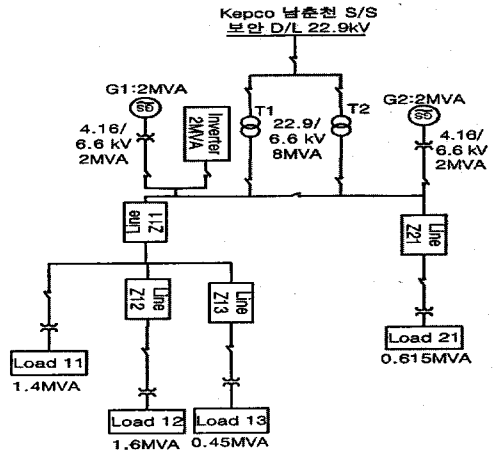


그림 1. 지역에너지시스템 계통 단선도

2.2 계통 연계형 인버터 설계

계통 연계형 인버터의 Firing Pulse 신호는 SPWM 방식으로 하였고 제어는 유효(P)와 무효(Q)전력 제어[3]를 사용하였다. P제어에서는 지령치(Pref)와 인버터의 출력 유효전력(Pinv)의 차이가 PI 블록에서 조정되고 마이크로 소스의 선형 운전 구간인 0°~30°의 전압 위상각을 발생하게 된다. Q제어도 지령치(Qref)와 인버터 출력 무효전력(Qinv)의 차이가 PI 블록에서 조정되고 CES에서 요구하는 유효전력을 만드는 적당한 전압의 크기를 발생하게 된다.

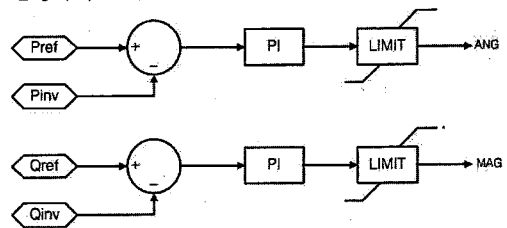


그림 2. P와 Q 제어 구조도

P와 Q 제어의 두 지령치는 CES의 계통상황에 따라 변하게 된다.

### 2.3 지역에너지시스템 제어 설계

CES내에 설치된 두 대의 일체형 원자로(REX-10)을 기저 전원으로 하고 CES 계통의 변화를 계통 연계형 인버터가 담당하도록 제어기를 [그림 2.3.1]과 같이 설계하였다. 유효 전력 제어는 두 대의 REX-10의 출력과 내부 연계지점에서 부하의 차이를 0~2MW한도에서 공급하도록 지령치(Pref)를 인버터로 보내게 된다. 무효 전력 제어는 CES의 무효 전력 보상 커패시터와 부하가 요구하는 무효전력의 차이를 적정 한도 내에서 공급하도록 하는 지령치(Qref)를 인버터로 보내게 된다.

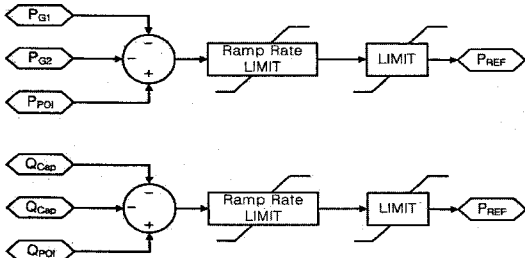


그림 3. 지역에너지시스템 제어 구조도

이 두 유무효 전력 제어는 REX-10이 일정한 유효전력 출력을 낼 수 있도록 한다.

### 2.4 시뮬레이션 및 분석

외부 계통에 연계된 경우 이전의 논문에서 볼 수 있듯이 CES의 불안정한 상태를 외부 계통이 모두 감당하기 때문에 본 논문에서는 다루지 않았다. CES의 정격 전력은 6MVA이고 정격 전압은 6.6kV이다. 시뮬레이션 진행은 PSCAD/ EMTDC를 사용하였다.

#### 2.4.1 지역에너지시스템의 독립운전전환

CES가 외부 전원과 내부 전원(REX-10, 인버터)들이 정상적으로 운전되다가 0.55초에 독립운전으로 전환된 경우 유무효 전력의 변화를 보았다.

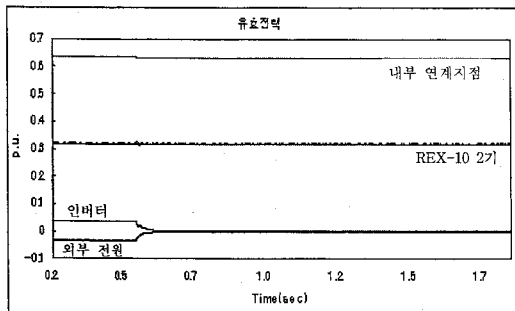


그림 4 CES 독립운전 전환 후 유효전력 변화

약 1.86MW(0.31p.u.)의 출력을 각각 내던 REX-10 2기가 독립운전 전환 후에도 변동 없이 부하를 잘 담당하고 있음을 볼 수 있다.

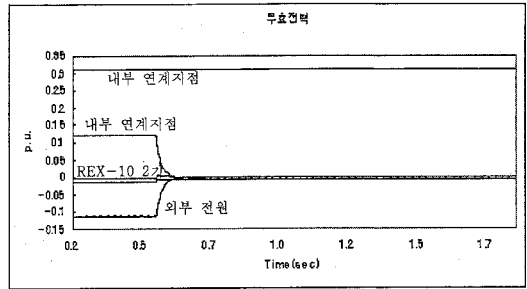


그림 5 CES 독립운전 전환 후 무효전력 변화

#### 2.4.2 독립운전전환 후 부하 증가

CES의 독립운전 전환 후 안정적인 운전을 하다가 2.5초에 약 0.5MVA(0.45MW, 0.263Mvar)의 부하 증가 이후 변화를 보았다. 부하 증가는 CES 계통의 오른쪽 구역에서 발생하였다.

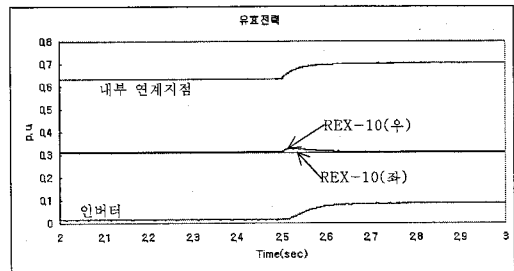


그림 6 부하 증가 후 유효전력의 변화

인버터가 증가된 부하를 모두 담당하기 때문에 REX-10에서 약간의 유효 출력 변화 후 원래의 상태(약 1.86MW)로 되돌아간다.

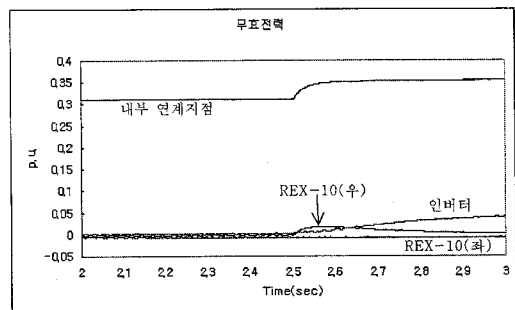


그림 7 부하 증가 후 무효전력의 변화

#### 2.4.3 독립운전전환 후 부하 감소

부하 증가 후 CES가 안정적으로 운전되다가 어떤 원인에 의해서 부하가 감소하는 경우의 변화를 보았다. 부하 감소에 사용된 부하는 부하 증가와 동일한 약 0.5MVA(0.45MW, 0.263Mvar)이고 부하 감소는 2.5초에 발생하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 계통 연계형 인버터의 설계 및 일체형 원자로의 기저 전원으로써 안정적인 운용을 위한 제어 방법에 대하여 연구하였다. 인버터 점호 신호는 SPWM 방식을 사용하였으며 인버터 위상 및 전압 출력 특성은 기존의 P와 Q제어를 바탕으로 본 연구에 맞게 개선하였다. 일체형 원자로의 일정 출력을 위해서 각 발전 주체와 내부 연계지점 및 커패시터 뱅크를 모니터링하여 변화를 CES의 중앙 통제실에 보내고 이를 판단하여 인버터에 신호를 보내는 제어시스템을 설계하였다. 제안된 모델의 효용성을 확인하기 위해서 강원대학교의 계통을 모델링하였으며 이를 PSCAD/EMTDC를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션을 통해서 기존 동기기의 관성 때문에 과도현상에 빠르게 반응하지 못하는 문제점을 인버터로 개선했고 일체형 원자로 도입의 가능성을 제시하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 박용업, "CES(지역 에너지 시스템)의 계통 연계 및 독립운전 특성에 관한 연구", 2005. 2.
- [2] S. bose, Y. Liu, K. Bahei-Edlin, J. de Bedout, M. Adamiak, "Tieline Control in Microgrid Applications", 2007 iRep Symposium-Bulk Power System Dynamics and Control, 7, pp.19-24, 2007
- [3] 손광명, "마이크로소스의 EMTDC 시뮬레이션 모델 개발에 관한 연구", 조명·전기학회논문지, 제19권, 2005. 12..

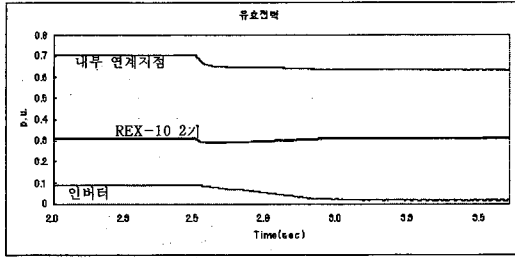


그림 8 부하 감소 시 유효전력 변화

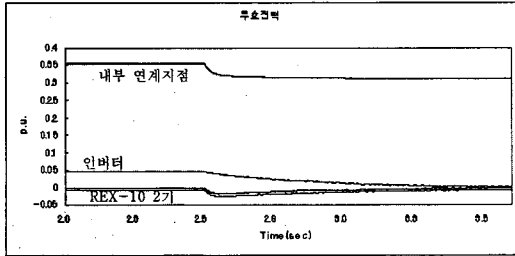


그림 9 부하 감소 시 무효전력 변화

전력이 감소함에 따라 인버터의 출력도 감소하여 두 대의 REX-10의 출력이 조금 변동하였다가 빠르게 다시 원래의 출력으로 돌아옴을 볼 수 있다.

#### 2.4.4 독립운전전환 후 REX-10 한 대 고장

독립 전환 후 최악의 상황인 REX-10의 고장 후 CES 내의 나머지 전원의 변화를 보았다. 고장난 발전기는 CES 계통의 왼쪽 발전기로 하였으며 2.0초에 고장이 났다고 설정하였다.

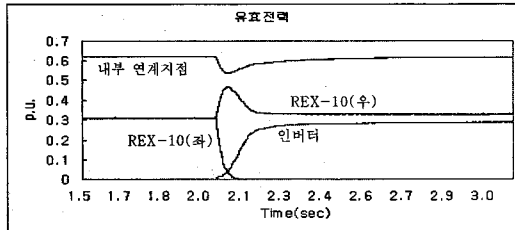


그림 10 REX-10 한 대 고장 후 유효전력 변화

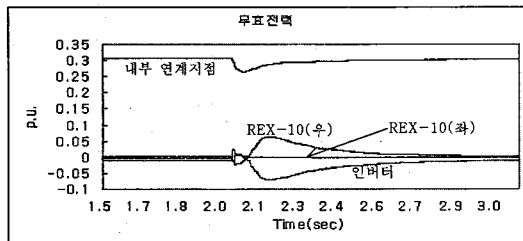


그림 11 REX-10 한 대 고장 후 무효전력 변화

REX-10의 유효 정격 출력의 약 1.3배의 변화가 발생하였다. 유효전력은 사고 후 0.3초, 무효전력은 0.9초후에 안정화 되었다.