

## 지역 에너지 시스템 (Community Energy System)의 계통 연계 운전 특성

°박 용 업\* 김 광 호\* 장 성 일\*\*  
\*강원대학교, \*\*서울대학교

### An Impact Analysis of Community Energy System (CES) on The Grid

°Y. U. Park\* K. H. Kim\* S. I. Jang\*\*  
\*Kangwon National University \*\*Seoul National University

**Abstract** - This paper analyse impacts of Community Energy System (CES) on the grid during transition periods for integrating of the CES and the grid. In the near future, CES might be one of major energy supply structures. The basic concept of CES is that it supplies electrical and thermal energy to the local customer loads through the islanded power network separated from the grid. Therefore, the interconnection with the grid occurs only when the energy supply from the CES generators does not meet the demand of the local load. For avoiding impacting the grid during the transition operation modes of CES, it is necessary to thoroughly analyse the influences on the grid during those periods. In order to show them, in this paper, we model the CES with 2.34 MVA DG and simulate the impacts on the grid due to interconnection of CES. The simulation results show that, in order to reduce bad influences of CES on the grid, CES need the efficient load management and generation control schemes during the transition periods.

부하지역을 모델링 한 후, 과도현상 및 계통 연계 특성을 모의 분석하였다 [2]. 모델링 된 지역 에너지 시스템은 1.17 MVA의 용량을 갖는 동기발전기 2기를 포함한 것으로 가정하였다. 모의결과 지역에너지 시스템의 계통 연계 시 계통에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 연계 시 분산전원의 출력전압, 주파수, 위상을 계통의 그것들과 일치시켜야 함을 알 수 있었다. 또한 계통과 분리하여 운전할 경우에도, 분리시점의 분산전원의 용량과 부하용량의 차이에 따라 심각한 과도현상이 발생할 수 있음을 보였다.

## 2. 본 론

### 2.1 분산전원 및 연계 배전 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9 kV 축전 변전소의 배전계통을 모델링 하였으며, 분산전원이 연계된 특정 부하지역은 석사 간선 말단에 위치하고 있는 강원대학교로 선정하였다.

#### A. 분산전원 모델링

본 논문에서는 가장 일반적인 발전기로 사용되어지는 동기기를 선정하여 모델링 하였다. 일반적으로 동기발전기의 출력 제어 방법에서 계자 전류 제어를 통하여 그 출력 값을 제어하게 되면 발전기의 역률을 저하시키기 때문에, 좀 더 효율적인 제어를 위하여 발전기 출력단 전압과 계통 전압의 위상차  $\delta$ 를 조정한다 [3]. 그림 1은 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 동기 발전기모델이다. 그림에서 A, B, C는 배전계통에 연결되는 3상 전원을, W, Te, Tm는 발전기의 기계적인 입력 값을 통하여 속도를 제어하는 Multi Mass와 연결되는 단자를 나타낸다. 그리고 Ef0, Ef, If는 회전자에 계자 전압 제어를 위한 Exciter와 연결되는 단자이며 w, Tm, Tm0는 동기기를 일정한 속도로 유지시켜 주기 위한 Hydro Governor와 연결되는 단자를 나타낸다. 일반적으로 동기 발전기를 배전계통과 연계 할 때에는 과도현상을 감소시키기 위하여 발전기의 출력 전압 크기, 주파수, 위상 등을 계통의 조건과 유사하게 조정 한다 [4]. 본 논문에서는 지역 에너지 시스템의 계통 연계 특성을 고려하기 위하여 동기 발전기 외부에 설치되어 있는 조속기와 가버너를 함께 모델링 하였다. 지역 에너지 시스템에 연계 되어 있는 동기발전기는 1.17 MVA 2기로 가정하였다 [5].

#### B. 발전기 연계 배전 계통의 모델링

본 연구에서 이용한 배전계통은 변전소 변압기 단락용량 60 MVA, 22.9 kV의 계통으로서 배전선은 CNCV 325mm<sup>2</sup> 지중선으로 이루어져 있다. 축전 S/S의 MTR #1은 서로 다른 부하용량을 가지고 있는 5개의 간선으로 이루어져 있으며, 이 중 석사 간선 말단에 위치하고 있

## 1. 서 론

현대사회에서의 도시는 그 규모가 클수록 특별한 업무 목적을 위한 대용량 수용가가 점점 늘어나고 있으며, 이들의 전력필요에 대한 요구 또한 엄격해지고 있다. 이는 건물의 고층화, 대형화와 더불어 정보화 된 생활을 바탕으로 한 다양한 부하가 급속하게 증가하고 있기 때문이다. 그러나 현재 우리나라는 이러한 부하 용량에 대해 발전력이 한정적이며, 계통에서 발생하는 사고지점 이후의 수전단은 정전의 피해를 볼 수밖에 없는 단 방향 조류계통의 한계점을 안고 있다[1]. 또한, 우리나라는 대부분의 전력생산을 담당하고 있는 원자력 발전소의 안정성과 핵폐기를 처리장 부지 확보문제, 송배전 시설의 확충에 따른 비용문제 등 여러 가지 문제점을 안고 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 최근 병원, 백화점, 대형빌딩 등 특정한 공급구역의 일부 부하에 대해 수용가가 직접 공급구역 내에서 전기를 생산, 공급하는 지역 에너지 시스템 (Community Energy System)이 최근 각광을 받고 있다.

다양한 에너지를 사용하는 집단 수용가에게는 에너지 공급 시스템이 종합 에너지 이용이라는 측면에서 반드시 경제적이고 효율적인 시스템이라는 것에 대한 의문이 생기게 되었고, 그에 대한 신뢰도를 확보하기 위해서 이에 대한 연구가 분산전원의 확산과 연계되어 활발하게 진행 중이다. 본 논문에서는 이러한 지역 에너지 시스템의 계통 연계 운전 특성을 분석하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 축전 S/S의 #MTR 1의 공급 전력계통을 모델링 한 후, 배전선 말단에 분산전원을 포함한 특정

는 강원대학교를 분산전원을 포함한 지역 에너지 시스템으로 가정하고 모델링을 진행 하였다. 강원대학교는 주변전선 변압기 용량 6 MVA, 6.6 kV의 계통이며, 배전선은 6.6 kV 지중선으로 이루어져 있다. 강원대학교에 연계된 분산전원은 전철에서 기술한 것과 같이 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 동기 발전기를 사용하였으며, 전체 배전계통 모델은 실 계통 데이터를 이용하여 모델링 하였다. 그림 2는 본 논문의 22.9 kV 배전 계통 단선도를 나타내고 있다.

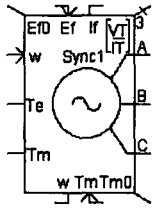
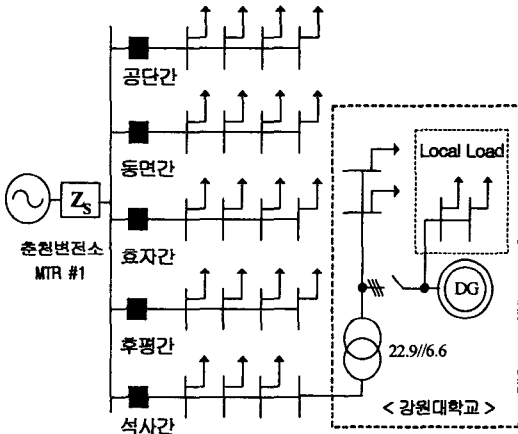


그림 1 EMTDC에서의 동기 발전기 모델



→ Load

■ Point of Common Coupling

그림 2 분산전원이 연계된 22.9 kV 배전계통 단선도

## 2.2 지역 에너지 시스템 계통 연계 및 단독 운전 특성

본 절에서는 비교적 큰 규모의 분산전원이 연계되어 있는 배전계통의 다양한 운전 상황을 모의하였다. 지역 에너지 시스템의 계통 연계 특성을 살펴보기 위하여 2.34 MVA 용량의 분산전원을 포함하고 있는 지역 에너지 시스템을 강원대학교에 일시적으로 연계하였다. 지역 에너지 시스템은 발전기 용량과 유사한 크기의 로컬부하로 전력을 공급하는 것으로 가정하였다. 그리고 지역 에너지 시스템 단독 운전 시 부하용량을 달리하여 분산전원의 운전특성을 모의하였다.

### A. 지역 에너지 시스템 계통 연계 특성

본 절에서는 지역 에너지 시스템에 포함된 분산전원이 로컬부하로 전력을 공급하고 있을 때, 일단은 안정된 상태에서 부하 증가가 예상되어 지역 에너지 시스템을 계통으로 연계하도록 모의 하였으며 이에 대한 결과를 그림 3, 4, 5, 6, 7에 나타내었다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 배전계통 연계 이전에 지역 에너지 시스템은 안정적으로 로컬부하에 전력을 공급하고 있으므로, 연계 시 계통으로부터의 전력 유입 발생하지 않아 계통 영향이 미소한 것을 알 수 있다. 즉, 계통 연계 시 과도현상이 발생하지 않도록 지역 에너지 시스템의 출력전압, 주파수,

위상을 계통의 그것과 유사하도록 제어하였다. 로컬 부하를 포함하고 있는 지역 에너지 시스템은 10초에서 계통에 일시적으로 연계시켰다.

### B. 지역 에너지 시스템의 단독 운전 특성

분산전원이 계통 전원과 병행하여 운전하고 있던 중, 계통 조건의 변동으로 분산전원을 절체 할 때의 상황을 모의하였다. 발전기는 운전 시작 2초 후 배전 계통과 연계되어 운전하며, 18초에 계통으로부터 로컬부하와 함께 절체 되어 독립 운전으로 변환되도록 모의하였다. 부하 용량을 달리하여 지역 에너지 시스템의 운전 특성을 모의 분석한 결과는 다음과 같다.

첫 번째로 발전량보다 로컬부하의 용량이 큰 경우의 모의 결과를 그림 8, 9에 나타내었다. 그림 8과 9는 발전기의 회전속도와 발전기의 출력변동을 나타내는 모의 결과이다. 그림과 같이 발전기의 회전자 속도가 크게 감소하는 특징을 나타내었다. 또한 유효 전력은 독립 운전으로 변환되는 지점에서 출력 값이 크게 증가하지만, 회전자 속도의 감소에 따라서 출력이 점점 줄어드는 현상을 보이고 있다.

두 번째로 독립운전 시 분산전원이 담당해야 할 로컬 부하의 용량이 발전량과 비슷한 경우에 대하여 모의하였으며, 이에 대한 결과를 그림 10, 11에 나타내었다. 발전기의 회전자 속도는 그림과 같이 독립운전으로 변환하기 위한 차단기 동작 시에만 약간의 과도현상이 있을 뿐 다시 정상적인 속도로 수렴하여 정상적인 주파수를 유지하게 된다. 유효전력 역시 부하 용량에 맞는 출력을 내보내고 있어 독립 운전으로 변환해도 정상적인 운전을 할 수 있는 것을 알 수 있다.

마지막으로 분산전원이 담당해야 할 로컬부하의 용량이 발전량보다 더 작은 경우에는 첫 번째의 모의 결과와 반대로 발전기의 회전자 속도가 갑자기 증가하는 특징을 보였다. 또한 유효전력은 작아진 부하 때문에 그 출력 값이 크게 줄어드는 현상을 보이고 있으며, 이 때 부하로 공급하지 못하는 에너지에 의해 회전자의 속도가 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 이에 대한 모의 결과를 그림 12, 13에 나타내었다.

### 2.3 지역 에너지 시스템 연계 운전 특성 분석

본 절에서 제시한 모의 결과에서와 같이 CES가 일정 용량을 갖는 부하를 갖는 상태에서 전력계통의 주파수, 전압, 위상에 맞추어 계통에 접속될 경우에는 배전계통에 미치는 영향을 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다. 지역 에너지 시스템 단독 운전에 대한 시뮬레이션에서는 분산전원이 담당해야 하는 부하용량에 따라 다른 모의 결과를 나타내었다. 담당해야 할 부하의 용량이 발전량에 비해 크거나 작을 경우 발전기가 가속 또는 감속하는 연구 결과를 보였다. 따라서 부하용량이 발전기 용량보다 클 경우에는 단독운전 후 신속하게 로컬 부하의 일부를 절체 하여 지역 에너지 시스템을 운전하는 것이 필요한 반면, 발전 용량이 부하용량에 비하여 클 경우에는 발전기의 출력을 감소시켜야 할 것이다. 지역 에너지 시스템의 단독운전 중 가장 이상적인 운전형태를 갖는 것은 발전기의 용량과 담당해야 할 부하 용량이 유사한 경우임을 알 수 있었다.

### 2.3 향후 연구

지역 에너지 시스템은 효율성이나 부하 특성 등을 고려할 때, 그 수요가 계속 증가 할 전망이다. 지금은 소규모 발전기들의 용량이 매우 작아 계통 전체에 미치는 영향이 작지만, 그 수요가 증가하여 여러 대의 발전기를 운전하게 되면 계통의 보호 뿐 아니라, 전력 품질에 미치는 영향을 반드시 고려해야 할 것이다. 또한 미래에는 본 논문에서처럼 동기발전기뿐만 아니라 운전되는 것이 아닌, 다양한 형태의 소규모 발전기들이 사용되어질 것이며, 그 운전 형태도 매우 다양해 질 것으로 예상된다. 이에

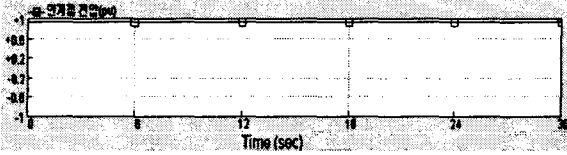


그림 3 계통 연계 시 연계점 전압

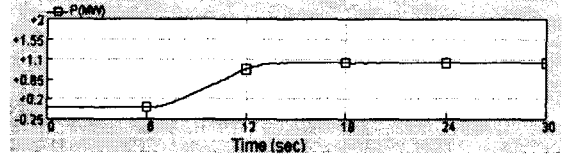


그림 11 분산전원의 출력 (발전용량 ≒ 부하용량)

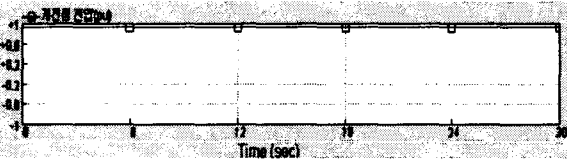


그림 4 계통 연계 시 계전점 전압

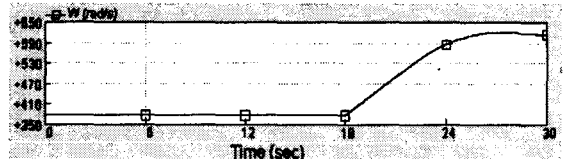


그림 12 분산전원의 회전자 속도 (발전용량 > 부하용량)

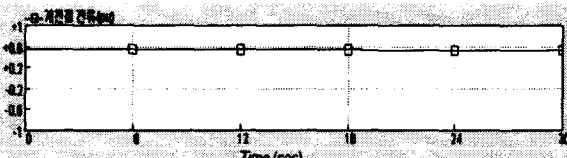


그림 5 계통 연계 시 계전점 전류

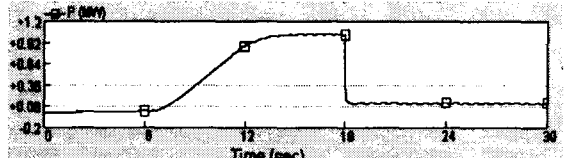


그림 13 분산전원의 출력 (발전용량 > 부하용량)

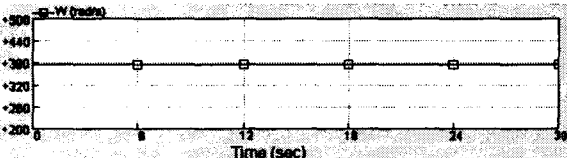


그림 6 계통 연계 시 분산전원의 회전자 속도

다양한 계통 상황에 따른 지역 에너지 시스템 영향을 분석하고, 기존에는 발생되지 않았던 여러 가지 문제점에 대한 연구를 진행해야 할 예정이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 과도 현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC(Power System Computer Aided Design/Electro Magnetic Transients in DC systems)를 이용하여 지역 에너지 시스템에 대한 계통 영향 분석 및 단독 운전 시 부하특성에 따른 발전기 운전 특성을 분석하였다. 지역에너지 시스템의 계통 연계 시 계통에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 연계 시 분산전원의 출력전압, 주파수, 위상을 계통의 그것들과 일치시켜야 함을 알 수 있었다. 그리고 지역 에너지 시스템이 단독운전으로 변환하는 경우 부하 용량에 따른 발전기 운전 특성을 모의 분석하였다. 모의 결과 단독운전 시 발전기의 운전특성은 담당하는 로컬부하의 용량에 따라 달라지는데, 신속한 발전기 출력 조정 및 부하절체로 지역 에너지 시스템의 안정적인 운전을 확보하는 것이 절실히 요구될 것으로 예상된다.

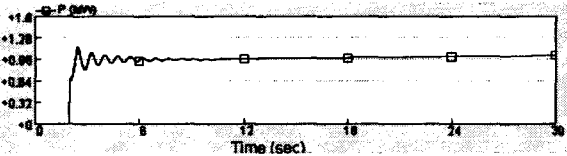


그림 7 계통 연계 시 분산전원의 출력

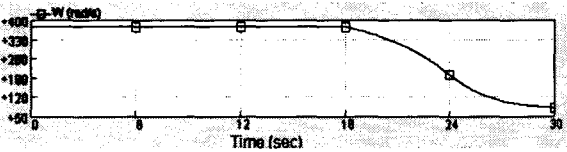


그림 8 분산전원의 회전자 속도 (발전용량 < 부하용량)

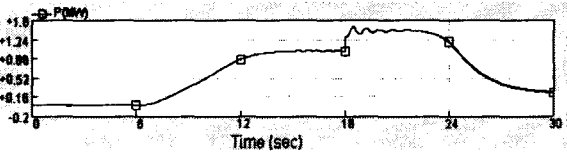


그림 9 분산전원의 출력 (발전용량 < 부하용량)

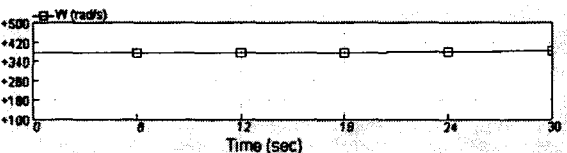


그림 10 분산전원의 회전자 속도 (발전용량 ≒ 부하용량)

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공항공동연구소(R-2003-0-291) 주관으로 수행된 과제임.

### [참고 문헌]

- [1] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1-Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000.
- [2] Manitoba HVDC Research Centre, " EMTDC V3 User's Manual"
- [3] Arthur R. BERGEN, Vijay Vittal "Power Systems Analysis" Second Edition
- [4] William J. O'Halloran and Kenneth W. Ramsay "Power Management"
- [5] William B. Gish, "Small Induction Generator and Synchronous Generator constants for DSG Isolation Studies." IEEE, Vol. PWRD-1.