

# 환경비용 및 운용방식을 고려한 마이크로그리드 최적 엔지니어링 연구

\*박 중성<sup>1)</sup>, 신 혜경<sup>2)</sup>, 이 덕수<sup>3)</sup>, 이 학성<sup>4)</sup>

## Optimal Engineering of MicroGrid on the Environmental Cost and Operation Type

\*Jungseung Park, Hyekyeong Shin, Ducksu Lee, Hakseong Lee

**Key words** : DER, CHP, MicroGrid, Greenhouse gases, Renewable Energy

**Abstract** : Environmental issue is one of the key factors to industry area using fossil fuels, because it accelerates the global warming. So it is supposed to reduce greenhouse gases around the developed nations of the world at times go. This issue is especially for the power industry. Under this background, CHP system that consists of Distributed Energy Resources (DER) system, such as natural power system (wind, solar) and fuel-cell, co-generation, also known as CHP (Combined heat and power), has been developed greatly during the last 10 years. This paper adopts optimal model using GAMS to develop methods for conducting an integrated assessment of MicroGrid system.

### subscrip

DER : Distributed Energy Resource

CHP : Combined Heat and Power

### 1. 서론

그동안 전력산업은 화석연료를 주로 사용하여 전력을 생산하는 지구온난화의 주범이었다. 현재 지구 온난화 문제를 해결하고자 선진국을 주축으로 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 에너지인 신재생에너지를 전력산업에 보급하고자 하는 노력이 늘어나고 있다. 교토의정서 이후 우리나라는 당장 배출가스 규제를 따를 필요는 없지만, 향후 전력산업에 큰 시장이 될 신재생에너지 분야의 핵심 기술을 주도하기 위해 여러 기관에서 연구의 열을 올리고 있다. 또한 배출가스에 따른 CDM(청정에너지 개발 체제) 사업이나 배출권 거래제와 같은 부수적 시장도 관과 할 수 없는 중요한 이슈로 부각되고 있다.

하지만 아직까지는 신재생에너지를 포함한 분산전원을 기존의 전력계통에 적용하는데 많은 기술적 문제가 산재해 있다. 특히 풍력발전 시스템이나 태양광발전 시스템의 경우 출력이 일정하지 않고 제어가 어렵기 때문에 아직까지는 많은 보

급이 이루어지지 않고 있다. 그 밖에도 이러한 분산전원 대부분이 경제성이 낮다는 문제를 가지고 있다. 따라서 여러 선진국 및 우리나라는 여러 가지 지원제도를 통해 시범적으로 보급하고 있는 실정이다. 기술적 문제점이 해결되고 대량 생산이 이루어진다면 분산전원도 경제성을 가질 것이다. 분산전원을 전력계통에 연계하기 위한 기술적 문제를 해결하고자 미국, 유럽, 일본, 호주, 한국에서 마이크로그리드 시스템이라는 새로운 개념을 도입하여 연구 중이다. 본 논문은 이러한 마이크로그리드 시스템 관점에서 환경비용 및 마이크로그리드 운용방식을 고려하여 경제성 평가를 시행하였으며, 사례연구를 통해 분산전원 최적조합을 제시하였다.

- 
- 1) 효성 중공업연구소 전력자동화팀  
E-mail : pzzangcap@hyosung.com  
Tel : (031)596-1681 Fax : (031)596-1698
  - 2) 효성 중공업연구소 전력자동화팀  
E-mail : fortune430@hotmail.com  
Tel : (031)596-1725 Fax : (031)596-1698
  - 3) 효성 중공업연구소 전력자동화팀  
E-mail : dslee@hyosung.com  
Tel : (031)596-1682 Fax : (031)596-1698
  - 4) 효성 중공업연구소  
E-mail : hslee@hyosung.com  
Tel : (031)596-1700 Fax : (031)596-1698

## 2. 본 론

### 2.1 마이크로그리드 시스템의 개요

마이크로그리드는 여러 분산전원과 제어 가능한 부하를 하나의 작은 그리드로 구성하여 전력계통에 연계하는 기술로, 전력계통의 입장에서는 마이크로그리드 역시 기존의 발전원이나 부하로 제어할 수 있는 시스템이다. 이러한 마이크로그리드 내의 부하는 마이크로그리드의 전원으로 부터 전력 및 열을 공급받을 수 있을 뿐만 아니라 전력계통에서도 전력을 공급받을 수 있다. 따라서 마이크로그리드는 전력계통과 시스템적으로 연결하여 운용할 수 있는 계통연계모드와 전력계통과 시스템적으로 분리하여 운용할 수 있는 독립운전모드로 운전될 수 있다. 그림 1은 마이크로그리드의 개념도이다.

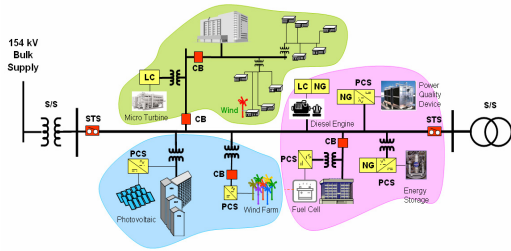


Fig. 1 Concept of MicroGrid

### 2.2 마이크로그리드 경제성 분석

본 논문에서는 여러 가지 분산전원 중 기술적으로 적용 가능성이 높은 마이크로터빈, 연료전지, 풍력, 태양광을 전원으로 채택하였다. 또한 분산전원들과 계절별 부하패턴을 이용하여 10년간 운영하였을 때의 경제성을 분석하였다. 분석을 위해 각 전원의 초기 건설비용 및 유지보수비용을 사례별로 달리 하였으며, 향후 적용될 온난화 가스 배출에 대한 페널티 부분을 고려하여 환경비용을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 분석 하였다. 분석결과는 각 전원별 대수이다.

#### 2.2.1 분석을 위한 전원 및 부하 자료

표 1은 사례연구에 적용한 전원들의 기저적 특징 및 설치 단가, 유지보수비용을 보여주며, 각 항목의 데이터는 제조사 및 에너지관리공단의 자료를 적용하였다.

Table 1 Specificatino of generators

	마이크로터빈	연료전지	풍력	태양광
용량(kW)	100	200	10	10
수명(Yr)	10	10	20	20
초기건설비(W/kW)	1,700,000	3,000,000	5,000,000	6,000,000
유지보수비(W/kW)	4%	9%	3.5%	1%
전기효율(%)	33	47	-	-
열효율(%)	52	33	-	-
이용률(%)	-	75	20	15
CO2배출계수	0.3	0.3	-	-

유지보수비의 경우는 초기건설비 대비 %로 표기하였으며, 태양광의 이용률 경우는 시간대별로 달리하여 평균이 15%가 되도록 적용하였다. 그림 2는 계절별 시간대별 전기와 열 부하의 패턴이다.

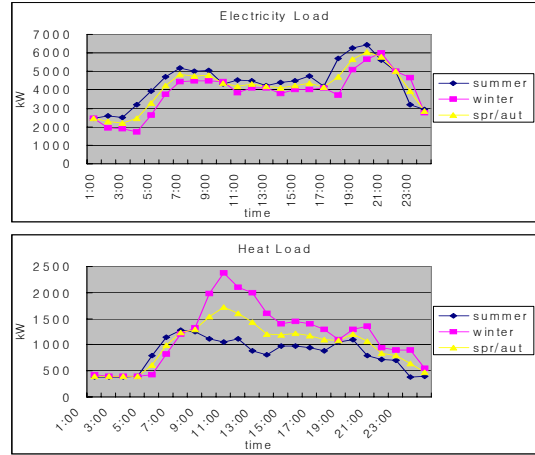


Fig. 2 Electricity and heat load of each season

#### 2.2.2 최적화 모델링 및 가정

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_i IniCst_i \cdot (1 + Rate)^{Life_i} / Life_i + OMCost_i \\ & + \sum_i \sum_t \sum_y EmCbeff_i \cdot (GP_{i,t,y} + Ppwr_{ty}) \cdot Emcost \\ & + \sum_t \sum_y Ppwr_{ty} \cdot Ecost_{ty} + Be + \sum_i \sum_t \sum_y GP_{i,t,y} \cdot gasCost + Bg \\ \text{s.t. } & ELoad \leq Ppwr + \sum_i GPE \\ & HLoad \leq \sum_i GPH \\ & GPE \leq PU_i \cdot EffE_i \cdot OpRate_i \\ & GPH \leq PU_i \cdot EffH_i \cdot OpRate_i \end{aligned}$$

*IniCst* : 전원별 초기건설비용, *Rate* : 이자율  
*Life*: 전원별 수명, *OpRate* : 전원별 이용률  
*OMCost* : 전원별 유지보수비용  
*EmCbeff* : 전원별 CO2 배출계수, *GP* : 발전량  
*Ppwr* : Utility로부터의 전력구매비용  
*Emcost* : ton 당 CO2 배출비용  
*Ecost* : 시간대별 계절별 전기요금  
*Be* : 전기 기본요금, *gasCost* : 연료비용  
*Bg* : 가스 기본요금, *ELoad* : 전기부하  
*HLoad* : 열부하, *GPE* : 생산전력  
*GPH* : 생산열, *EffE* : 전원별 전기효율  
*EffH* : 전원별 열효율, *PU* : 전원별 단위용량

목적함수는 건설비용, 유지보수비용, 배출비용, 전력구매비용, 전력생산에 따른 연료비용을 최소화하는 것이며, 제약조건은 전기 및 열의 수급방정식과 발전 및 발열에 대한 단위용량별 제약식이다.

**Table 2 Scenarios of Engineering**

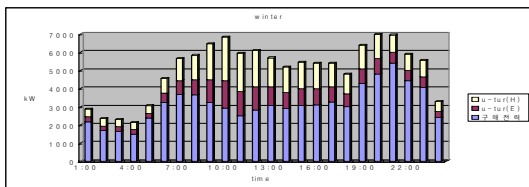
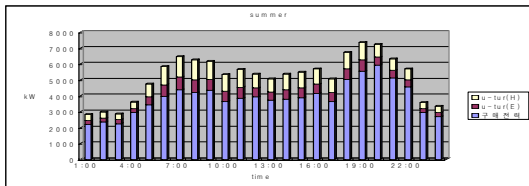
	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
배출비용	X	X	O	O	O	O	X	X
보조금	70%	70%	50%	50%	70%	70%	50%	50%
운영방식	연계 운전	독립 운전	연계 운전	독립 운전	연계 운전	독립 운전	연계 운전	독립 운전

표 2는 여러 분석사례를 보여주며, 초기건설비의 경우는 현재 정부의 신재생에너지 지원제도를 적용한 70%의 경우와 2010년 이후에는 현재의 50%라고 가정한 경우로 나누어 분석하였다. 배출비용은 고려한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누었고, 운영방식은 계통연계운전과 독립운전의 경우로 나누어 분석하였다.

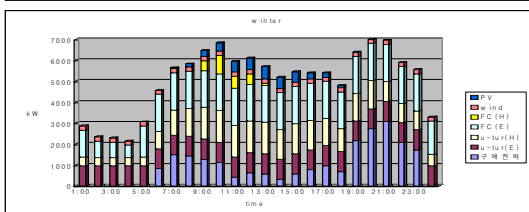
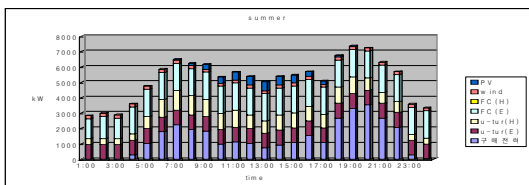
**2.2.3 분석결과**

**Table 3 Optimal Mix of DER**

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
마이크로터빈	46	23	46	100	29	23	46	100
연료전지	0	78	0	42	25	78	0	42
풍력	0	100	100	100	100	100	0	100
태양광	0	100	100	100	100	100	0	100



**Fig. 3 Result of Case 1**



**Fig. 4 Result of Case 5**

표 3은 각 사례 별 전원구성을 나타낸 표이며, 그림 3과 4는 대표적으로 비교가 되는 사례의 여름과 겨울철에 대한 전원구성을 누적그래프로 표현한 결과이다. 그림 3은 분산전원이 경제성을 갖지 못하는 경우이고, 그림 4는 분산전원이 경제성을 가지므로 고르게 분포함을 볼 수 있다.

**4. 결론**

친환경에너지인 신재생에너지를 전력계통에 적용하는 것은 아직까지 큰 문제들이 존재한다. 기술적인 문제를 마이크로그리드 시스템을 통해 해결한다고 하더라도, 경제적인 문제가 존재하기 때문이다. 현재의 분산전원들은 설치단가가 비싸고 이용률 또한 낮다. 하지만 본 논문의 사례별 비교를 통해 분산전원이 경쟁력을 갖는 경우 제시하고 있다. 설치비 단가는 현재의 보조금과 유사한 수준으로 내려가야 하며, 향후 의무적으로 이행될 온난화가스 배출비용을 적용한다면 경제적인 측면까지 경쟁력을 가질 수 있을 것이다.

본 논문에서는 운영방식별 사례연구에서 계통연계운전과 독립운전방식을 비교하였다. 하지만 이는 두 가지 방식을 동시에 고려한 최적전원 구성이 아니라, 각 운전방식에 대한 최적전원 구성이다. 따라서 향후 연구로는 이러한 두 가지 운영방식을 동시에 고려하기 위해 마이크로그리드 시스템의 부하를 중요부하와 일반부하로 나누고, 신뢰성 및 안정도를 고려하여 최적 전원 구성 및 설비대수를 산출하는 연구를 수행할 것이다.

**후기**

본 연구는 지식경제부에서 시행하는 전력산업연구개발 사업(과제명: 마이크로그리드 운영시스템 설계 및 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

**References**

- [1] Yongwen Yang, "Optimal Model of Distributed Energy System by Using GAMS and Case Study", SCADE, LBNL-61117, November 30, 2005
- [2] C. Marnay, "Optimal Technology Selection and Operation of Commercial-Building MicroGrids", IEEE Trans. on Power Sys., TPWRS-00549-2007.R1
- [3] "2006년 신·재생에너지통계", 에너지관리공단 신·재생에너지센터