

선형계획법을 이용한 마이크로그리드의 분산전원 조합 최적화

(An Optimization of the Distributed Generator Combination for Microgrid using Linear Programming)

이학주* · 채우규 · 정원욱 · 송일근

(Hak-Ju Lee · Woo-Kyu Chae · Won-Wook Jung · Il-Keun Song)

요 약

마이크로그리드는 부하 인근지역에서 분산전원에 전력과 열을 동시에 공급할 수 있는 소규모의 온 사이트형 전력공급 시스템으로 신재생에너지의 확대보급을 위한 기반 조성이 가능하다. 이러한 마이크로그리드 시스템의 경제적인 구축을 위해 엔지니어링 프로그램의 활용이 요구되고 있다. 이에 본 논문에서는 선형계획법을 이용하여 마이크로그리드의 구축비용이 최소화될 수 있는 분산전원 최적조합, 그에 대한 경제성 평가 및 분석이 가능한 엔지니어링 프로그램을 개발하였다. 제시한 엔지니어링 프로그램은 GAMS를 이용하여 구현하였으며, 분산전원 최적조합 모듈 및 신재생에너지의 출력 예측 모듈을 포함하고 있다, 사용자의 편리성을 고려하여 구성하였으며, 사례연구를 통하여 제안한 프로그램의 유용성을 보이고 있다.

본 논문에서 개발한 마이크로그리드 엔지니어링 프로그램은 향후 마이크로그리드의 확대보급 및 에너지 수급 계획 수립에 활용이 기대된다.

Abstract

MG(Microgrid) is a small power supply system located on-site that can supply both the electricity and the hot-water simultaneously. Engineering S/W is requested to construct Microgrids economically. We developed Engineering S/W that can combine DERs (Distributed Energy Resources) most economically using the linear programming and estimate of the economic. Developed S/W was programed using GAMS(General Algebraic Modeling System) and it is composed of the optimal DER combination module and forecasting module of renewable energy's output. We embody it based on MS Excel considering the user's convenience and we show its validity through a case study. We think that developed S/W will be very useful for planning MGs and energy supply.

Key Words : Microgrid, Engineering, Linear Programming, Economic Analysis, GAMS

* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원
Tel : 042-865-5982, Fax : 042-865-5944
E-mail : juree@kepri.re.kr
접수일자 : 2010년 5월 28일
1차심사 : 2010년 6월 2일
심사완료 : 2010년 7월 5일

1. 서 론

마이크로그리드 시스템은 기존의 화석연료를 사용하는 전원뿐만 아니라 신재생 에너지를 포함하여 부하지 인근에서 에너지를 공급하는 시스템으로 분산전원의 장점을 최대한 이용할 수 있는 수단이며 미래 혁신적인 전력공급 분야의 기술로 여겨지고 있다. 또한, 마이크로그리드는 다양한 형태의 전원이 연계될 수 있어 분산전원의 체계적인 보급은 물론 CO₂ 저감에 의한 지구 온난화 문제 해결에 기여할 수 있다. 이에 기존 전력계통과의 조화로운 공존을 위해 마이크로그리드의 경제성 확보가 가장 시급히 해결해야 할 문제로 대두되고 있다[1-2]. 경제성을 고려한 마이크로그리드 엔지니어링은 기후 환경을 기반으로 전력품질, 신뢰도, 온실가스 배출량 등 소비자의 요구사항을 반영한 시스템 구성, 경제성 및 환경영향 평가를 제공하게 된다. 마이크로그리드의 효율적인 운영을 위해서 초기 건설단계에서 설비조합의 최적화가 필요하며 이는 최적계획에 관한 문제로 귀결된다. 즉 마이크로그리드 시스템의 경제적 운용을 위하여 주어진 에너지 수요에 대한 최적의 기기구성 및 운전정책에 부합되는 설비 운영의 최적계획을 수립하는 것이 필요하다[3]. 따라서 본 논문에서는 마이크로그리드의 최적계획을 수립하기 위하여 엔지니어링 프로그램을 개발하고, 사례연구를 통해 다양한 전력과 열 수요 및 부하별 운전조건을 고려한 마이크로그리드의 분산전원 최적조합 구성 및 운용방안을 제시함으로써 프로그램의 유용성을 확인하였다.

2. 마이크로그리드의 경제성 평가

마이크로그리드의 경제성 평가 방안은 크게 확실성 하에서의 경제성 평가와 불확실성을 포함한 경제성 평가로 구분할 수 있다. 전자의 경제성평가 방안은 프로젝트에 소요되는 투자비용만을 계산하는 것이며, 민감도 분석을 수행할 경우 특정의 입력요소를 가변시킬 수 있으나 이는 경제성 평가 후에 수행되는 부가적인 분석이라 할 수 있다. 불확실성 하의 경제성 평가는 입력요소가 불확실성을 내포하고 있으므로 입력요소에 확률

적 변수를 반영하여 경제성 평가를 수행하는 것을 말한다. 전자의 대표적인 경제성평가 방안은 미국 Berkeley Lab에서 개발된 DER-CAM으로 이는 500[kW] 이하 소규모 전원의 실증 중심으로 개발된 경제성평가 툴로 지역의 열과 전력 수요를 만족시키는 가장 경제적인 분산전원 설비 조합 및 기 설치된 설비의 이상적인 운영 스케줄을 도출하고, 경제적 측면의 최적화를 수행하는 모델이다. DER-CAM은 혼합정수계획법을 이용하여 마이크로그리드 지역의 연간 에너지 공급비용 최소화가 목적함수이다. 연간 에너지 비용의 계산을 위해 전력회사에서의 에너지 구매비용, 분산전원의 유지보수 비용 및 지원비 등을 연금화하여 비용을 추정한다[4]. 반면에 불확실성을 포함한 경제성평가 방안은 Galvin Electricity Initiative에서 제안한 BIPS(Building Integrated Power System ; 이하 BIPS)가 대표적이며, 이는 비용 및 분산전원의 성능에 따라 나타날 수 있는 나타날 수 있는 정전비용, 소비자 효용, 생활의 질 개선 정도 등과 같은 불확실성 요소를 정량화하여 분산전원 설비의 경제성 평가를 하게 된다[5]. 또한 BIPS의 민감도 분석은 소비자의 투자위험 감소와 효용 증대의 자원 분배를 도출하기 위한 기술적, 경제적, 정책적 측면의 주요 영향요소를 규명하는데 도움이 된다. 이러한 BIPS는 전력서비스 제공에 따른 사회 및 소비자의 효용 극대화가 목적함수가 된다.

분산전원 설비에 의해 전력서비스를 공급받는 빌딩 및 마이크로그리드의 불확실성 요소를 정량화하는 경제성평가를 위해 몬테카를로 확률의 적용이 가능한 Crystal Ball을 사용하고 있다. 본 논문에서는 마이크로그리드의 운영자 관점에서 특정 지역의 에너지 수요를 최소 비용으로 만족시킬 수 있는 분산전원 최적 조합 및 평가기간 동안의 분산전원 운영스케줄 도출을 위해 경제성평가 기반의 엔지니어링 프로그램을 개발하였다.

3. 엔지니어링 툴 개발

3.1 엔지니어링 플로우

마이크로그리드 엔지니어링 설계 플로우는 그림 1

과 같이 대상 지역 선정 후 (1) 신·재생에너지원의 발전 가능량 평가를 위한 기후환경 정보 수집 및 분석, (2) 전력 및 열수요 예측을 위한 부하 정보 수집 및 분석, (3) 최적 조합을 위한 적용 가능 발전원 및 열원 선정, (4) 시스템 최적 조합 및 운전 스케줄 산출 등 크게 4개 부분으로 구성된다.

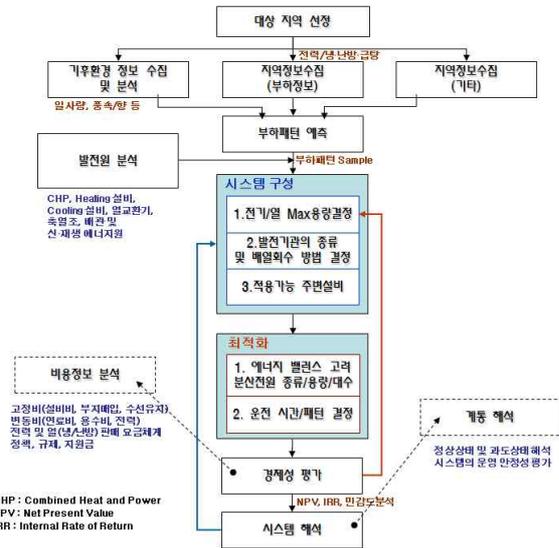


그림 1. 마이크로그리드 엔지니어링 플로우
Fig. 1. Flow Diagram of Microgrid Engineering

3.1.1 부하량 산출

그림 2는 전력부하 분석 단계를 나타내며, 건축물의 용도별 단위 전력사용량, 즉 부하밀도를 기준으로 수용률, 세대수, 부등률을 고려하여 최대전력부하를 산출하였고, 시간대별 전력부하율을 고려하여 연간 전력부하를 산출한다. 연간 냉·난 수요치 산출 시에도 용도별 단위 열 부하를 기준으로 최대 연결 열 부하를 계산하였으며, 동시부하율 및 수송 손실률을 고려하고 최대 열 부하를 산출하여 계절별 외기온도를 고려한 시간대별 냉·난방 부하율을 이용하여 연간 열 부하를 산출하게 된다.

3.1.2 신재생에너지 발전량 예측

태양광 및 풍력의 발전량을 예측하기 위하여 기상청의 일사량 및 풍속 데이터를 이용하였으며, 본 논문은 사전 타당성을 목적으로 한 엔지니어링 단계이므로

각 발전원의 세부모델은 고려하지 않았다. 태양광의 발전량을 예측하기 위해서 태양전지의 종합 설계계수를 적용하여 식 (1)과 같이 발전량 예측치를 산출하였다. 종합설계 계수는 PV 모듈 온도에 따른 출력감소, 인버터의 효율, 시스템의 전력손실 등을 고려하여 일반적으로 70~80[%]를 적용하였다.

$$E_p = P_{AS} \cdot K \cdot Q_A \quad (1)$$

여기서 E_p : 태양전지 발전량 [kWh],
 P_{AS} : 태양전지 설치량 [kW]
 K : 종합 설계계수
 Q_A : 일사량[kWh/m²·day]이다.



그림 2. 전력부하 분석 절차
Fig. 2. Steps of Electric Demand Analysis

풍력의 연간 발전량을 예측하기 위하여 기상청의 풍속데이터를 취득하여 대상 풍력발전기 터빈의 높이로 보정하고 Weibull 확률 밀도를 분석한 후에 풍속에 따른 발전량 특성 곡선을 적용하여 연간 발전 가능량을 산출한다.

$$E_w = 8760 \cdot P_w \cdot (1 - \lambda_1) \cdot (1 - \lambda_2) \cdot \dots \cdot (1 - \lambda_n) \quad (2)$$

여기서 E_w : 연간 발전 가능량 [kWh/year]
 P_w : 전력생산량 합 [kWh]
 λ_1 : 풍력터빈의 후류손실
 λ_2 : 설비보수 등의 정지손실
 λ_3 : 풍력터빈 기동 손실
 λ_4 : 배전계통 손실이다.

3.2 시스템 정식화

에너지 수요에 따라 초기 설비비용과 운전비용을 최소화할 수 있는 최적계획 또는 최적기기 구성을 수립하여야 하며, 수학적 모델을 이용한 각 기기의 기동, 정지 및 부분 부하운전에 따른 연속변수의 변화를 결정하기 위하여 선형계획법을 이용한 최적계획을 정식화하고자 한다. 본 논문에서는 마이크로그리드 시스템을 구성하는 가스터빈 발전기, 폐열회수보일러, 보조보일러, 냉동기 등의 CHP와 풍력과 태양광 발전과 같은 신·재생에너지원의 연간 운전비용뿐만 아니라 각 기기의 초기 투자비용을 동시에 고려한 목적함수를 최소화할 수 있는 최적의 설비구성 및 각 수요조건에 맞는 구성기기의 운전방안을 수립하여 최적화 모델링의 한 방법인 선형계획법으로 정식화하였고, 이를 가장 널리 사용되고 있는 최적화 모델링 툴인 GAMS(General Algebraic Modeling System; 이하 GAMS)를 이용하여 최적화운전 모사 프로그램을 개발하였다. 수요 분석 및 적용가능한 발전원의 선정이 끝나면, 연간 부하 패턴, 각 설비의 설치 단가, 운영 및 유지보수 비용, 각 설비의 경제적인 운영 스케줄, 환경 비용 등을 고려하여 마이크로그리드 시스템의 최적 구성을 산출한다. 최적조합 결과는 분산전원의 유형과 대수뿐만 아니라 시간대별 각 분산전원의 운전스케줄을 제시한다. 분산전원 최적 조합을 위한 목적함수는 각 발전원의 감가상각 및 이자율을 고려하여 초기 투자비용을 엔지니어링 계획 연수에 맞도록 환산하고, 온실가스 배출비용, 전력 구매비용 및 기본요금, 발전 연료비용 및 기본요금으로 구분하고 고정비와 변동비의 합이 최소가 되도록 식 (3)과 같이 정식화하였다.

□ 목적함수

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_i IniCost \times Rate \times \left(\frac{1 - \rho(1 + Rate)^{-Life}}{1 - (1 + Rate)^{-Life}} \right) \\ & + \sum_i \sum_z \sum_y EmCoeff_k \times (GP_{i,z,y} + P_{pwz}) \times EmCost \\ & + \sum_z \sum_y P_{pwz} \times ECost_{z,y} + Be \\ & + \sum_i \sum_z \sum_y GP_{i,z,y} \times GasCost + Bg \end{aligned} \quad (3)$$

식 (4)~(7)은 본 논문에서 적용한 제약조건으로 전력 소비량은 발전기의 생산전력과 구매전력의 합과 같거나 작아야 하며, 열 소비량은 열 총생산량을 초과할 수 없으며 또한 각 설비의 생산 전력과 열은 각 설비의 최대출력보다 작아야 한다.

□ 부등 제약조건

$$E_{Load} \leq P_{pwz} + \sum_i GPE \quad (4)$$

$$H_{Load} \leq \sum_i GPH \quad (5)$$

$$GPE \leq \sum_i PU_i \times EffE_i \times OpRate_i \quad (6)$$

$$GPH \leq \sum_i PU_i \times EffH_i \times OpRate_i \quad (7)$$

여기서

IniCost : 전원별 초기건설비용

Rate : 이자율

ρ : 경제적 유효수명 이후에 설비의 잔여율

Life : 전원별 수명

OMCost : 전원별 유지보수비용

EmCoeff : 전원별 CO₂ 배출계수

GP : 발전량

Ppwz : 전력 구매비용

Emcost : ton 당 CO₂ 배출비용

Ecost : 시간대별 계절별 전기요금

Be/Bg : 전기/가스 기본요금

gasCost : 연료비용

ELoad : 전기부하

HLoad : 열부하

GPE : 생산전력

GPH : 생산열

EffE/EffH : 전원별 전기/열효율

OpRate : 전원별 이용율

PU : 전원별 단위용량 이다.

3.3 엔지니어링 프로그램의 구성과 기능

본 논문에서 개발한 마이크로그리드의 엔지니어링

프로그램은 시스템이 설치될 지역의 풍속, 풍량, 일사량, 강수량 등 기후 환경을 수집·분석하여 적용 가능한 분산전원을 분석하고 수용가의 요구사항 및 '신재생에너지 발전량 산출 프로그램'과 사용자가 입력한 부하, 설비 및 경제지표들을 바탕으로 비용최소화를 위한 설비조합 및 발전 스케줄을 도출하는 GAMS 기반의 '최적화 프로그램'으로 나누어 구성하였으며, MS-Excel 기반의 사용자인터페이스로 편리성을 고려하였다. 또한 마이크로그리드 시스템의 최종적인 분산전원 최적조합 결과에 대한 온실가스 배출량 산정에 의한 환경영향평가에 대한 자료의 제공이 가능하다. 그림3은 본 논문에서 개발한 마이크로그리드 엔지니어링 프로그램의 주화면이다.

The screenshot shows the main interface of the Microgrid Engineering program. It features several data tables and input sections. The 'Data Table' section includes columns for Name, MISCAP, MISCAP, LIFETIME, INITIAL.COST, DISCOUNT.RATE, REMAIN, CO2A, CO2B, CO2C, CO2D, MIPROFIT, and MIPROFIT. Below this, there are sections for '시도별부하' (Regional Load) and '보조부하' (Auxiliary Load), each with similar data tables. The interface is designed for data entry and calculation, with a clear layout for different components of the microgrid system.

그림 3. 엔지니어링 프로그램 메인 화면
Fig. 3. Main Screen of Microgrid Engineering Program

The screenshot displays the 'Input Worksheet of Wind Generation Resource'. It contains a table with columns for 'Wind speed [m/s]', 'Electrical power [kW]', and 'Weibull Data'. The table lists various wind speed values and their corresponding electrical power outputs. To the right of the table, there is a graph showing 'Electrical Power (kW)' on the y-axis and 'Weibull' on the x-axis. The graph illustrates the Weibull distribution of wind power, with a curve that rises and then levels off. The text '1 페이지' is visible in the bottom left corner of the worksheet.

그림 4. 풍력발전 자원 입력 화면
Fig. 4. Input Worksheet of Wind Generation Resource

마이크로그리드의 엔지니어링 프로그램은 신·재생에너지원 중에 풍력 및 태양광 발전시스템을 대상으로 설치 지역의 자연환경에서 출력 가능한 발전량을 산출을 위해 'WT', 'PV'에 설비 정보가 추가 입력되어

야 하며 풍속 데이터를 확보하지 못한 경우 Weibull 분포함수의 적용이 가능하다.

또한 태양광 발전시스템의 발전량 산출을 위해 모의 여부 및 설비 데이터 이외에 기후환경 정보로서 설치될 지역의 위도, 경도 및 기준시 경도, 월평균 청명지수 또는 월평균 일사량을 입력해야 한다. 이 외에도 태양광 발전시스템의 최대출력점 추종을 위해 표면경사도를 입력한다.

경제성 평가는 최적화 프로그램에서 도출된 연간 에너지 부하를 공급하기 위한 최적 설비 및 운전스케줄, 총 비용 등을 바탕으로 대상 시스템의 사업성 여부를 판단하기 위한 경제성 지표 분석을 위해 몇 가지 가정을 수립하고, 이를 바탕으로 대상 시스템의 연간 현금흐름, 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 및 투자회수기간을 도출한다. 이외에도 연간 총투자비, 연간 설비운영 결과, 연간 연료사용량, 전력회사로 부터의 연간 전력 수전량 등을 도출하였다.

본 논문에서 개발한 엔지니어링 프로그램은 내부수익률, 투자회수기간 및 순현재가치와 같은 경제성 지표를 분석하기 위하여 연간 총 투자비를 바탕으로 연차별 현금흐름을 도출하기 위하여 다음과 같은 가정 하에서 개발되었다.

- 대상 시스템의 설비 증설이 완료된 후 시스템 수명기간동안 수입이 발생함.
- 대상 시스템의 설비 증설이 이루어지는 동안에는 비용발생요인은 연간 투자비를 의미하며, 수입발생요인이 없음.
- 대상 시스템의 설비 증설이 완료된 이후에 비용발생요인은 연료비용, 수전비용 및 O&M 비용을 의미하며, 수입요인은 에너지 판매임.
- 설비 건설 공기동안의 연간 총 투자비는 최적화 프로그램을 통해 도출된 연간 총 비용에 할인율을 적용하여 산정함.
- User가 입력한 대상 시스템의 연차별 부하증가율을 고려하여 설비 증설이 완료된 이후의 수입을 산정함.
- 최적화 프로그램을 통해 도출된 설비별 운전스케줄은 에너지 사업자가 사업을 진행하는 기간동안 지속됨을 가정하여 공급량과 단가의 곱

4. 사례 연구

4.1 개요

사례연구에 적용한 마이크로그리드는 대규모 전력계통과 연계된 시스템으로 신규 주택단지의 전력부하의 일정부분을 담당하는 형태이다. 기존 대규모 전력계통의 배전시스템은 단순히 부하 측에 발전단에서부터 온 전기에너지를 공급하는 형태이지만, 마이크로그리드 시스템은 배전측에서 전원과 부하가 함께 있어 전체적인 에너지 효율 및 신뢰성을 높일 수 있다. 본 논문에서 제안한 마이크로그리드 엔지니어링 프로그램의 효용성을 보이기 위하여 경남 창원시의 신규 택지지역인 ○○지구를 대상으로 사례연구를 하였다. 대상지역은 토지용도별로 7개 지역으로 구분할 수 있고, 4개의 단독 주택지역과 공원은 태양광을 중심으로, 공동 주택 및 상업시설 지역은 전력과 열을 공급할 수 있도록 고려하였으며 그 구성은 그림 5와 같다[6].

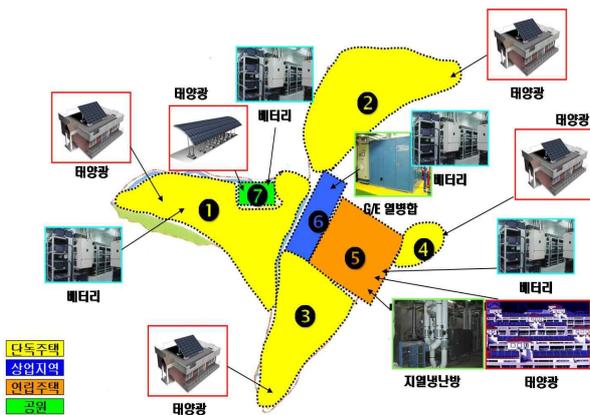


그림 5. 마이크로그리드 개념도(사례연구)
Fig. 5. Conceptual Diagram of Microgrid(Case Study)

4.2 부하 분석 및 최적운전 결과

태양광, 풍력 등의 신재생에너지는 기후조건에 따라 발전출력이 변동하게 되므로 풍속, 일사량 데이터를 통해 발전량을 예측하지만, 열병합발전의 경우는 연간 총부하량을 만족하도록 최소비용의 출력을 모의한 결과로 별도의 예측된 결과를 이용하지 않는다.

표 1. 설비 데이터

Table 1. System Data for Resources

발전기 타입	용량([kW])	초기투자비용(천원)
가스터빈1	865/1,090 (전기/온수)	1,170,000
가스터빈2	990/1,350 (전기/온수)	1,340,000
보조보일러1	4,000	61,600
보조보일러2	6,000	87,400
터보냉동기1	540	79,800
터보냉동기2	650	86,800
가스직화식냉동기1	440/540 (온수/냉수)	23,000
가스직화식냉동기2	620/740 (온수/냉수)	26,900
태양광발전	300	157,200

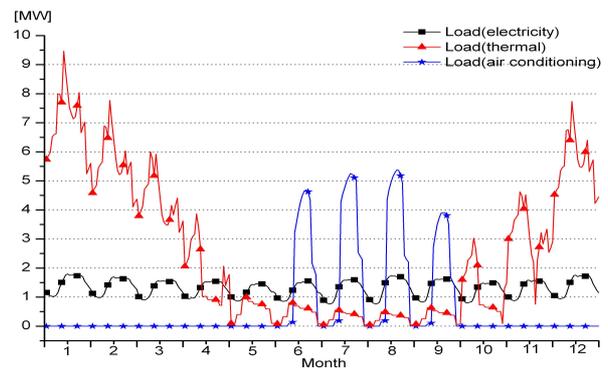


그림 6. 연간 부하패턴
Fig. 6. Annual Load Pattern(Electric, Heat, Cooling Energy)

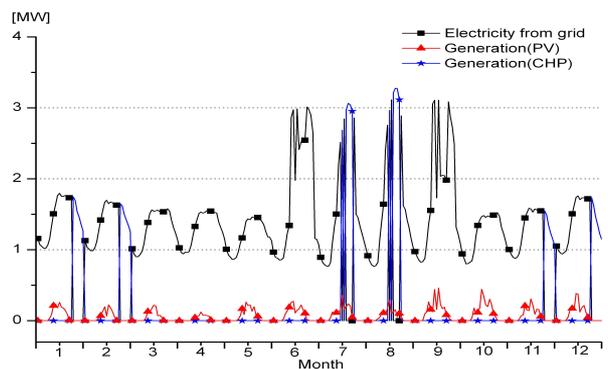


그림 7. 연간 발전량
Fig. 7. Annual Electric Power Generation

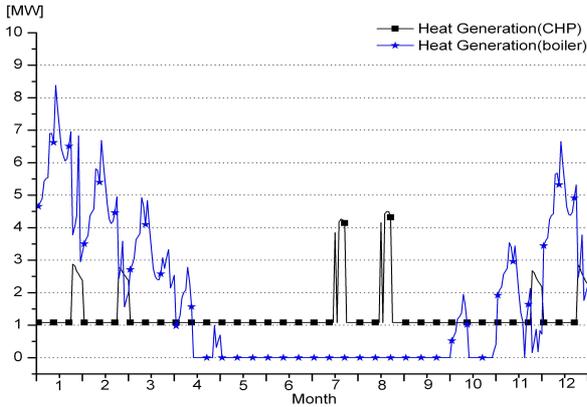


그림 8. 연간 열 생산량
Fig. 8. Annual Heat Generation

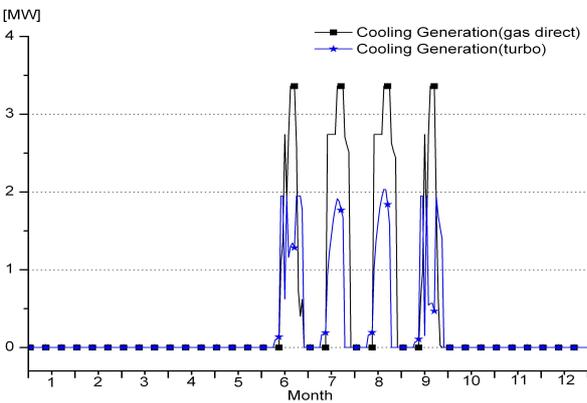


그림 9. 연간 냉방에너지 생산량
Fig. 9. Annual Cooling Energy Generation

표 1은 각 설비별 용량 및 초기투자비용이며, 그림 6은 연간 전력부하 및 냉·난방 열 부하 곡선이다. 또한 그림 7, 8, 9는 본 논문의 엔지니어링 툴을 이용하여 연간 전력부하, 열부하 및 냉방부하에 대한 분산전원 최적조합 및 연간 시간대별 발전계획을 나타낸 결과이다.

그림 10과 11은 운전을 위한 변동비가 최소가 되도록 하루의 설비 운전 계획을 수립한 결과로 그림 10은 8월 특정일에 전력을 공급하기 위해서 시간대별 Grid (매전), CHP, PV의 전력생산량을 나타낸 것이며, Grid_Cool과 CHP_Cool은 8월은 냉방 부하를 담당하는 터보냉동기의 필요 전력을 추가적으로 매전 및 발전한 결과이다. 그림 11은 8월 특정일에 냉방 수요를 공급하기 위한 흡수식 냉동기, 터보 냉동기, 가스직화

식 냉동기의 냉방 열 생산량을 나타낸 것이다.

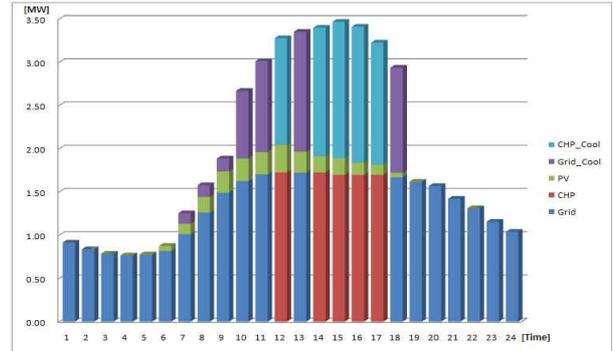


그림 10. 8월 특정일의 설비별 전력생산량
Fig. 10. Power Output for each device on any given day in Aug

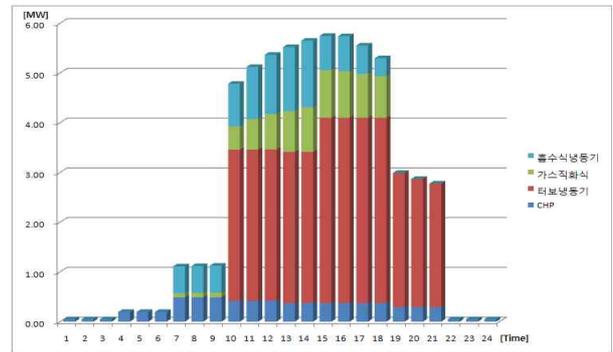


그림 11. 8월 특정일의 설비별 냉방열 생산량
Fig. 11. Cooling Output for each device on any given day in Aug

4.3 경제성 평가 결과

본 논문에서 개발한 엔지니어링 프로그램은 일차적으로 최적화 프로그램에서 도출된 결과로서 연간 총 투자비용, 연간 설비운영 결과 및 연간 연료사용량 결과를 도출하며 3장에서 언급한 주요 가정을 고려하였다.

표 2. 항목별 비용 결과 (천원/년)
Table 2. Cost Results (Thousand Won/yr)

고정비용	O&M 비용	운전비용	수전비용	총 비용
436,708	21,835	2,453,401	599,554	3,511,498

선형계획법을 이용한 마이크로그리드의 분산전원 조합 최적화

사례연구에 대한 분산전원 최적조합 결과 대상 지역은 계통과 연계되어 운전이 가능한 계통연계형 마이크로그리드로 총전력량의 80[%]는 한전에서 공급받고 마이크로그리드 내부의 태양광과 열병합 발전을 이용하여 총부하량의 20[%]에 대한 전력 공급이 가능한 결과를 도출하였다. 특히 태양광 발전은 전체 전력 공급량의 4.57[%]이며, 총 출력량은 557.6[MWh]가 된다. 표 3은 이에 대한 결과이다.

표 3. 발전설비 최적조합 결과 (천원/년)
Table 3. Optimal Combination of Electric Power Generation

	수전	CHP	태양광	총 합계
분담율(%)	79.65	15.78	4.57	100
총 출력량(MWh)	9672	1,916	558	12,146

또한 대상지역의 약 29,794[MWh]에 해당되는 열 공급은 표1의 설비에서 열과 냉방에너지의 100[%] 충족하도록 엔지니어링 하였다. 그 결과 열에너지는 보조보일러가 60[%], 다음 열병합 발전과 가스흡수식 냉동기 순으로 열 공급을 담당하게 되며, 냉방 에너지는 가스흡수식냉동기가 주로 담당하며 터보냉동기, 흡수식 냉동기에서 일 부분을 담당하는 표 3의 결과를 도출하였다. 향후 이 결과를 기반으로 마이크로그리드 시스템을 구축하여 신재생에너지원이 기저부하를 담당하고 CHP가 최대부하를 추종하도록 EMS에 의해 운전하게 된다. 또한 설비 최적조합에 의한 CO₂ 배출량은 표 4에 나타내고 있다.

표 4. 연간 CO₂ 배출량
Table 4. Annual CO₂ Emission

	수전	CHP	보조 보일러	가스 직화식냉동기	총 합계
CO ₂ 배출량	4,255,840	5,508	3,515	8	4,264,871

연차별 현금흐름 및 주요 경제성 지표는 1차년도에서 5차년도까지는 설비증설이 이루어지는 기간으로 총수입은 '0'이며, 이후 20차년도 까지는 설비 완공 이후에 에너지 판매가 가능한 기간에 해당되며, 현금흐

름은 총수입에서 총비용을 차감한 금액이다. 표 5는 기준년도의 현금흐름을 나타내며, 내부수익률은 14[%]이다.

표 5. 연차별 현금흐름 및 주요 경제성 지표
(단위 : 천원)

Table 5. Cash Flow and Economic Index

	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
총비용	247,800	277,536	310,840	348,141	389,918
총수입	0	0	0	0	0
현금흐름	-247,800	-277,536	-310,840	-348,141	-389,918
	6차년	7차년	8차년	9차년	10차년
총비용	3,143,077	3,221,108	3,301,089	3,383,071	3,467,102
총수입	3,430,361	3,516,120	3,604,023	3,694,124	3,786,477
현금흐름	287,284	295,012	302,933	311,052	319,375
	11차년	12차년	13차년	14차년	15차년
총비용	3,553,233	3,641,518	3,732,010	3,824,765	3,919,838
총수입	3,881,139	3,978,167	4,077,622	4,179,562	4,284,051
현금흐름	327,905	336,648	345,611	354,797	364,213
	16차년	17차년	18차년	19차년	20차년
총비용	4,017,288	4,117,174	4,219,558	4,324,501	4,410,889
총수입	4,391,152	4,500,931	4,613,455	4,728,791	4,847,011
현금흐름	373,864	383,756	393,896	404,289	436,121

마이크로그리드의 민감도 분석은 에너지 공급시스템의 경제성 평가에 영향을 미치는 정도가 높은 외부변수 두 가지를 선정하여 기준을 중심으로 해당 변수가 ±5[%], ±10[%] 변화할 때 투자회수기간 및 내부수익률 변화 추이를 분석하였다. 기준에서 적용한 연료비는 한국가스공사의 가스요금표를 참고하여 588.18(원/Nm³, 1월~3월, 12월), 574.55(원/Nm³, 4월~5월, 10월~11월), 572.02(원/Nm³, 6월~8월)을 적용하고 전력 판매단가는 한국전력공사의 전기요금표를 참조하였으며 열 공급단가는 125(원/Mcal)으로 계산한 결과이다.

5. 결 론

전 세계는 환경문제 해결과 지속가능한 발전을 위해

가능한 에너지원을 확보하려고 보이지 않는 무한경쟁의 상황 속에서 신·재생에너지를 적용한 마이크로그리드 시스템의 기반 기술 확보 및 적용확대가 말로 환경문제를 해결함과 동시에 에너지원의 자립도를 높일 수 있는 최적의 방안이라 하겠다. 이에 본 논문에서는 마이크로그리드를 구성하기 위한 엔지니어링의 필요성에 따라 마이크로그리드 구성에 필요한 분산전원의 특성을 분석하였으며, 엔지니어링의 핵심 중 하나인 최적 조합 및 경제성 평가가 가능한 엔지니어링 프로그램을 개발하였다. 또한 사례연구 결과를 기반으로 최적 조합 및 경제성 평가 방안을 제시하였다. 특히 엔지니어링을 통한 마이크로그리드 시스템의 운영계획에 대한 정확성을 높이기 위하여 부하 분류 및 모델링, 기후 환경 분석 등을 통해 분산전원의 최적 조합 및 경제성 평가와 분석이 가능함을 제시함으로써 본 논문을 통하여 개발된 프로그램이 향후 마이크로그리드를 고려한 에너지 수급계획 수립에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010T100200161).

References

[1] R. Lasseter, et. al., 'White Paper on Integration of Distributed Energy Resources - The CERTS Microgrid Concept' Office of Power Technologies of the US Department of Energy, April. 2002.
 [2] 안중보, '마이크로그리드 기술 동향' 한국조명전기설비학회지, Vol.23., No.6., 2009. 12.
 [3] 한전전력연구원, '마이크로그리드 운영시스템 설계 및 개발' 1단계 보고서, 2009. 8.
 [4] C. Marnay, "Optimal Technology Selection and Operation of Commercial-Building MicroGrids", IEEE Trans. on Power Sys., Vol.23, No.3., 2008.

[5] Galvine Electricity Initiative, "Building-Integrated and Microgrid Distributed Power Value Models", User Guide, 2007. 4.
 [6] 한국전기연구원, '신·재생에너지를 이용한 마이크로그리드 단지 조성' 보고서, 2008. 12.
 [7] Yongwen Yang, "Optimal Model of Distributed Energy System by Using GAMS and Case Study", SCADE, LBNL-61117, November 30, 2005.
 [8] IEEE, "IEEE 1547-Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", 2008.
 [9] "2006년 신·재생에너지통계", 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2006.

◇ 저자소개 ◇



이학주(李鶴周)

1966년 12월 5일생. 1989년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



채우규(蔡又圭)

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 2007년 충북대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



정원욱(丁元昱)

1978년 1월 25일생. 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2005년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



송일근(金周勇)

1961년 3월 3일생. 1984년 숭실대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전력연구원 송배전연구소 책임연구원.