

경제성평가에 의한 독립형 마이크로그리드의 설계프로그램 개발

(The economic based Program for Remote Microgrid Design)

이학주* · 정원욱* · 추철민*

(Hak-Ju Lee · Won-Wook Jung · Ceol-Min Chu)

Abstract

Microgrid is a small-scale power system composed of distributed generators, energy storage system and loads, and can operate in the grid-connected mode and the islanded mode. This paper presents optimal design procedures for remote microgrid. The design program is based on the economic evaluations including the feasibility study module, optimal combination and allocation of DER, power network design and the reduction of the GHG emission. This program which is suggested in this paper shows good performance as a tool of remote microgrid design.

1. 서론

전력의 효율적 사용, 다양한 에너지원의 확보, 전력계통 신뢰도 향상 및 에너지 안보, 환경적 영향에 대한 패러다임의 변화로 마이크로그리드 기반의 전력계통은 현재 새로운 전력공급 시스템으로의 잠재성이 높게 평가되고 있으며 최적운전을 위한 다양한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 마이크로그리드는 기존의 분산전원 계통연계와 개념을 달리하여 평상시에는 전력계통과 연계되어 운전되며 전력계통의 고장 또는 사고가 발생할 경우 연계 스위치를 차단하여 독립적으로 운전되어 계통의 사고로부터 부하를 보호한다. 따라서 마이크로그리드는 어떠한 형태의 에너지 전원도 마이크로그리드 계통에 연계가 가능하고 새로운 전원의 추가로 인한 보호협조, 공급신뢰도 및 전력품질에 대한 영향을 주어서는 안된다. 이러한 마이크로그리드는 신재생 또는 소규모의 분산전원이 중요부하 인근에 설치되어 전력에너지의 이용효율을 극대화할 수 있는 장점이 있어 이를 디젤 발전시스템에 의존하고 있는 국내 도서지역의 전력공급시스템으로 적용범위를 확장하게 되면 초기 설치비용에 대한 부담은 있지만 낮은 발전비용에 의한 전력공급은 물론 환경문제에 대한 부담을 경감할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 독립형 마이크로그리드 시스템을 도서지역에 적용하기 위한 경제성평가 기반의 마이크로그리드 설계 프로그램을 개발하고 그 결과를 통해 도서지역의 신재생 에너지 확대 보급에 대한 가능성을 제안하고 있다.

2. 본론

2.1. HOMER의 구조와 기능 분석

도서지역이 신재생 확대보급을 위한 유일한 대안이 마이크로그리드이며, 지역 기후환경 및 부하패턴을 이용하여 분산전원의 최적조합을 고려한 마이크로그리드의 최적설계를 위해서는 경제성평가 기반의 설계프로그램이 필수적이다.

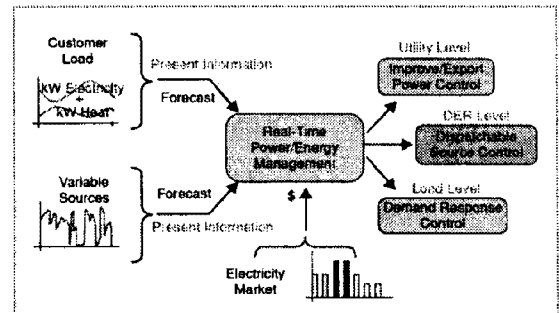


그림 1. 마이크로그리드의 운영 방안

Fig. 1. Management of Microgrid

이러한 관점에서 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 P. Lilenthal의 주도로 개발되어진 HOMER(Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)는 도서지역의 신재생 에너지 전원을 위한 복합 최적화 모델에서 비롯된 것으로 현재까지 지속적으로 보완이 이루어지는 소프트웨어이다. 전력시스템 설계 시 적용의 다양성을 고려하기 위하여 독립운전과 연계운전모드에 대한 전력시스템의 전력분포를 위한 최적화 모델, 평가 설계의 프로세스를 간편하게 제공한다. 또한 전력시스템 설계를 위하여 다양한 기술을 선택 적용하여 비교할 수 있고 전력시스템의 경제성과 기술

성을 평가함으로써 HOMER에서 지원하는 많은 기술의 선택과 기술의 가격변동 그리고 에너지원의 이용가능성을 결정하는데 도움을 제공한다. 즉, 일반 송배전선로와는 달리 도서지역과 같은 원격지의 송전선로 손실을 배제하기 위하여 풍력, 태양광 등을 채택하여 도서지역에서 단독으로 운전되는 신·재생복합전력시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 시뮬레이션 프로그램이다. HOMER는 경제성 평가를 위해 초기 투자비와 프로젝트 총기간 동안의 고정 운영비와 발생하는 수입을 계산하고 이 값은 순현재 비용 (NPC:Net Present Cost)로 나타낸다. 순현재 비용은 프로젝트 기간동안 발생하는 모든 비용과 수입을 할인율을 사용하여 미래의 현금 흐름을 현재가치화한 것으로 총비용에는 초기 설치비와 설비 교체비용, 유지보수비, 연료비전력계통으로부터의 전력 구입비용이 포함되고 수입은 전력계통으로 전력을 판매하여 얻는 수입을 포함한다. 또한, 프로젝트 기간 동안 모든 가격이 같은 비율로 상승하는 것으로 가정한다. 분석결과에서는 순 현재비용 외에도 발전량당 비용 (LCOE:Levelized Cost of Energy)과 최적 설계시스템인 연간 연료소비량, 이산화탄소를 포함한 오염물질 배출량이 계산되어진다.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann\ total}}{CRF(i \cdot R_{proj})} \quad (1)$$

식(1)에서 $C_{ann\ total}$ 은 연간 총비용, i 이자율, R_{proj} 은 프로젝트 기간, n 은 자본회수율을 의미하며

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있어 결과적으로 순현재 비용은 식(3)과 같다.

$$C_{NPC} = C_{ann\ total} \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \quad (3)$$

여기서, C_{NPC} 는 프로젝트 수행기간인 N 년 동안 매년 $C_{ann\ total}$ 을 불입한 후 불입한 금액의 현재가치를 나타낸 것이다.

$$COE = \frac{C_{ann\ total}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid\ sale}} \quad (4)$$

발전량당 비용은 식(4)에 의해 계산되며 E_{prim} 과 E_{def} 는 시스템이 연간 공급 가능한 각각의 초기부하와 저장 후 나중에 사용이 가능한 지연부하를 나타낸다. 또한, $E_{grid\ sale}$ 는 연간 전력계통에 판매가 가능한 총량이다.

즉, 발전량당 비용은 신·재생복합전력시스템에서 생산되어 사용할 수 있는 전력에너지의 kWh당 평균 비용을 뜻하는 것으로 단위는 [\$/kWh]가 된다.

HOMER를 이용하여 시스템을 평가할 수 있으며, 그 중에서 가장 비용을 최소화시키는 시스템의 구성을 위한 최적조합을 결과 값으로 제공하지만 HOMER는 경제성 평가에 치중이 되어 있어 비용최소화의 측면만을 고려한 설비구성을 제시하기 때문에 수입과 비용이라는 양 측면을 동시에 고려하지 못한다는 단점이 문제가 될 수 있고, 비용산출 기간 또한 일년 단위로 산출한다는 점에서 비용에서 초기건설비와 운영비의 영향이 초기건설비에 너무 집중되고, 이러한 결과로 초기건설비가 높은 발전원은 발전원 최적조합에서 거의 제외되는 결과를 산출할 수 있다는 결점이 있다.

REIScreen	Renewable Energy Technology Screen	Canada Renewable Energy Decision Support Center	http://www.rekscreen.net
Homer	optimization model for distributed Power	DOE 산하 National Renewable Energy Laboratory(NREL)	http://www.nrel.gov/homer
Vapor	Village Power Optimization Model	DOE 산하 National Renewable Energy Laboratory(NREL)	http://analysis.nrel.gov/vapor
Hybrid2	Hybrid Power System Simulation Model	NREL/Univ. of Massachusetts	/jobs/res/hy2/miro.htm
LEAP	Long-range Energy Alternative Planning system	Stockholm Environment Institute(SII)	http://forums.seib.org/leap
NEMS	National Energy Modeling System	DOE 산하 EIA(Energy Information Administration)	http://www.eia.doe.gov

그림 2 신재생에너지 경제성평가 프로그램
Fig. 2. Economic Evaluation Program for Renewable Energy

2.2. 프로그램의 구성

마이크로그리드 설계 및 평가 프로그램은 개별 혹은 통합적 측면에서 사전평가와 동적 분석이 기능이 제공되어야 하며 분산전원 또는 신·재생에너지 자원 관리 및 자원의 최적배분과 증장기 전력공급계획과의 연계분석이 가능한 분석 평가 소프트웨어 프로그램으로 개발되어야 한다. 또한 분산전원을 이용한 전력계통의 합리적인 운용을 위해, 각 분산전원별 경제성 평가와 Technical Pre-Feasibility Study를 수행, 설계 및 해석의 체계적인 프로세스에 의해 사용자가 시스템을 직접 설계/해석할 수 있으며 전력계통 연계시의 영향 해석 등 다양한 측면의 분석이 가능한 구성이 필요하다. 이러한 측면에서 마이크로그리드 투자 의사결정 지원도구 개발이 필요하며 이는 분산전원의 확대보급에 따라 향후 전력사업자 및 마이크로그리드 사업자를 대상으로 경제성 평가 및 상세 기술정보를 제공을 통해 사업 의사결정을 지원 및 시스템 운영자가 운전상황 설정 및 시스템 동작특성의 확인이 가능하도록 시뮬레이션 기능을 수행하여 향후, 현장 운영을 위한 가이드 제공이 가능한 기능을 도서지역을 주대상으로 하는 독립형 마이크로그리드 설계 프로그램을 구성, 개발하였다. 마이크로그리드를 설계할 경우 신재생 에너지원

을 포함하는 DER로 구성하여 다양한 발전원으로 구성된 마이크로그리드를 설계할 수 있다. 발전원을 신규로 생성할 경우 메인화면에서 마우스로 설치하고자하는 지역의 지도에 직접 표시할 수 있으며, 이렇게 생성된 발전원은 가장 가까운 선로에 자동적으로 연결되고, 그 둘 사이의 거리정보 및 선로손실정보를 자동으로 계산할 수 있게 제작하였다. 비용고려 측면에서도 비용이 발생하는 시점이 다른만큼 화폐의 가치변동을 고려하여 미래발생 비용을 현재의 가치로 환산하는 과정이 추가되어 경제성 평가를 보다 정확하게 할 수 있다. 그리고 사용자 편의를 도모하기 위해서 GUI기반의 사용자인터페이스를 구현하였다. 기존 어플리케이션은 Single Network Diagram을 사용하므로 실제거리와 지도상 거리의 오차가 존재하였으나, 본 프로그램에서는 개방형 소프트웨어 기반 GIS API를 통해서 취득된 해발고도 및 위도, 경도를 사용했기 때문에 기존보다 정확한 지리데이터 및 거리정보를 측정이 가능하다. 또한, 기존의 프로그램과 달리 마이크로그리드 수익을 고려한 경제성평가를 수행하며, GHG 감축량 산정 기능을 포함하고 있다. 표1과 같이 본 논문에서 개발한 마이크로그리드 설계 프로그램의 기능을 정의한다.

표 1. 마이크로그리드 설계프로그램의 기능
Table 2. Function of Microgrid Design Program

기능별 명칭	내 용
사용자 설계 기본정보 개발	기본정보 입력 개발 - 제약조건 (경제성, 공급안정성) - 에너지원 정보 (발전단가, 발전특성 등) - 부하 및 마이크로그리드 모의지역 환경정보 (부하 시계열분석, 평균풍속, 일사량 등) - 사용자 정의 내용 Display 및 레포팅
마이크로그리드 설계 개발	- Energy Source (적용가능 발전원 분석, 최대설비용량 분석) - MG 계통구성 (DER +Storage +Dispatch)
DER Feasibility Study 및 최적조합 개발	- MG Feasibility Study (운전제한조건 검토 및 Storage 용량산정) - MG 구성 발전원 후보군 도출 - DER 최적조합 우선순위 도출
분산전원 최적배치 및 네트워크 설계 개발	- DER 최적배치 및 네트워크 설계 개발 - MG 설계 및 계통구성 Display
마이크로그리드 기술계산 개발	- 차단기 용량산정 개발 (고장계산, 차단기 용량산정) - Optimal Configuration of MG
마이크로그리드 경제성평가 개발	- GHG 감축량 - MG 경제성 분석 (연간비용, 기타 비용측면의 타당성) - 최적 발전원 운전조합 (제약조건, 목적함수 최소화)

2.3. 세부기능 설계

프로그램은 사용자의 설계 기본정보, 분산전원 최적조합의 우선순위와 최적배치 기능과 고장계산 및 손실가스 감축량 계산을 포함한 경제성평가 기능으로 구분되

며 그림3은 프로그램의 개발 순서도이다.

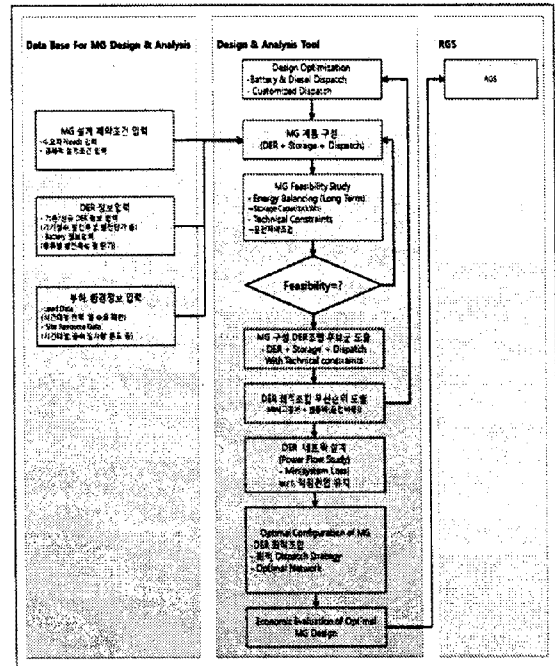


그림 3. 마이크로그리드 설계프로그램 흐름도
Fig. 3. Flow Chart of Microgrid Design Program

프로그램의 메인 화면은 상단에 메뉴 바와 킷 메뉴 그리고 좌측에 발전원 검토용 데이터 창, 해석 시뮬레이션 옵션, 중앙의 Main 창으로 이루어져 있다. 각 창은 고정된 위치를 갖지 않고 도킹상태가 가능하며 메인 창은 개방형 GIS정보를 이용하여 각 설비별 위치를 표시한다.

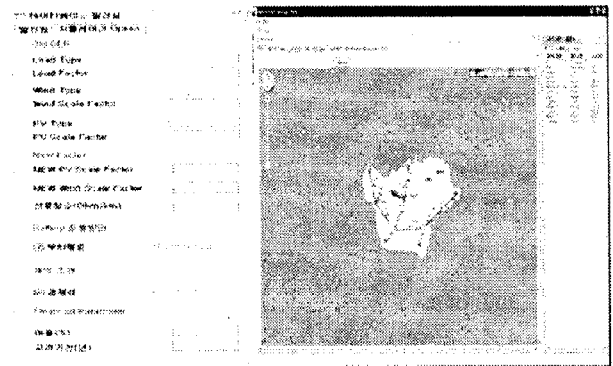


그림 4. 마이크로그리드 설계 프로그램 주화면
Fig. 4. Main Screen of Microgrid Design Program

(1) 프로젝트 생성 및 데이터 조회

새로운 Project 생성을 하게되면 그림5와 같은 대화상자가 나타나고 프로젝트 명, 저장위치, 지역선택, 및 월별 기상정보를 입력한다. 부하 유형을 데이터베이스로부터 얻어오며, 이 데이터는 사용자 임의로 테이블에서 직접 수정이 가능하다. 또한, 설계 대상지역의 기존발전

원은 설계자의 선택에 따라서 고려하지 않을 수 있도록 프로그램을 구성 하였다.

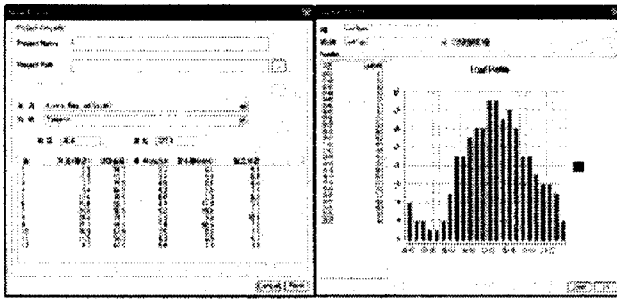


그림 5 프로젝트 생성 화면
Fig. 5. Screen of New Project

(2) 마이크로그리드 설계

메인 탭은 GIS를 이용한 설비들의 위치와 선로별 거리, 설비 특성을 표시해 주는 데 풍력, 디젤 및 태양광과 부하의 데이터를 그림6과 같이 추가 생성하여 마이크로그리드를 구성하게 된다. 발전원 데이터 탭에서는 분산전원의 발전량, 부하 삭감량, 비용 등을 조회할 수 있으며, 기존 발전원 데이터 탭을 제외한 나머지 탭은 해석결과에 의해서 표시된다. 발전원 데이터 탭은 새로운 프로젝트 생성시 기존데이터 사용여부에 따라 데이터베이스로부터 읽어오거나 사용자 설정으로 표시된다.

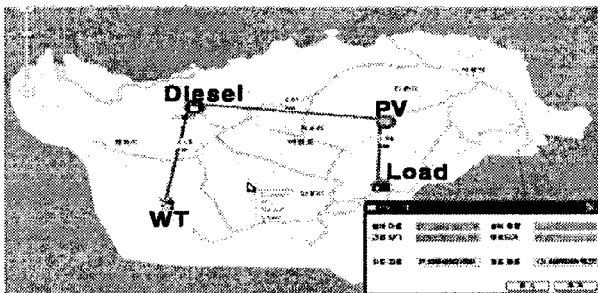


그림 6 마이크로그리드 설계 화면
Fig. 6. Screen of Design for Microgrid

그림6은 마이크로그리드를 설계 할 경우 해당 마이크로그리드 내에 신규로 설치될 발전원에 대한 데이터를 나타내는 탭이다. 이 탭은 사용자에 의해 입력되는 화면으로 사용자가 입력한 데이터가 차후에 시행되는 시뮬레이션에 사용된다.

(3) 마이크로그리드 시뮬레이션 결과

설계된 마이크로그리드의 해석 결과로 운전 가능한 분산전원 최적조합과 우선순위, 선로손실 및 고장계산에 대한 정보를 제공한다. 분산전원의 최적조합은 마이크로그리드 설계 시에 선택된 신규 풍력 및 태양광의 스케일에 따라서 디젤, 풍력 및 태양광의 운전가능

한 조합군의 비용을 계산하고 가장 경제적인 조합에 따라 우선순위를 설정한다. 선로손실과 고장계산은 선로정수(Ohm/km)에 의해 신규 분산전원의 설치 위치를 비교하여 계산되며, 고장계산은 부하점에서 발생하는 고장을 판단하고 해당 고장에 따르는 고장 전류를 판단하여 차단기의 차단 용량을 표시한다.

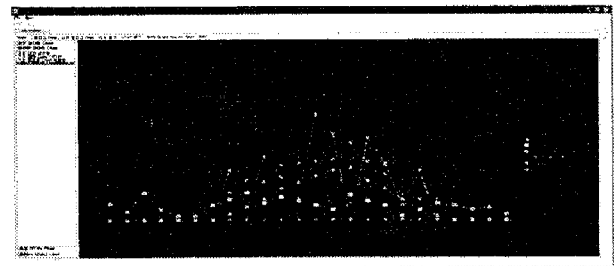
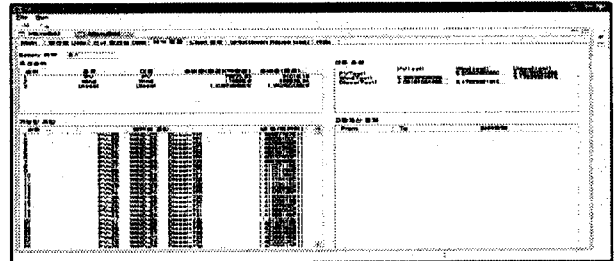


그림 7 마이크로그리드 설계 결과 화면
Fig. 7. Screen of Design Results for Microgrid

3. 결론

본 논문에서 제안한 마이크로그리드 설계 프로그램은 기존의 선진 프로그램인 HOMER나 VIPOR의 단점을 개선하여 경제성 평가, 분산전원의 최적조합 및 배치, 네트워크 설계가 하나의 프로그램에서 설계가 가능하도록 개발하였다. 그러나 본 논문의 프로그램은 독립형 마이크로그리드로 제한되어 있어 전력계통에 관련된 다양한 기술 계산을 단순화 하였다. 향후 미전화, 도서지역의 독립전원 시스템 구축을 위한 새로운 비즈니스 모델 개발에 활용이 기대되며 계통연계형 마이크로그리드를 설계, 평가 기능의 확장 개발할 계획이다. 마이크로그리드의 체계적인 설계 프로그램을 이용하면 분산전원 및 신재생 에너지의 합리적인 보급 확대 인프라 구축으로 온실가스의 효율적 감축에 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

(1) 한전 전력연구원, "마이크로그리드 운영시스템 설계 및 개발" 연구보고서, 2009. 9.
 (2) 장하나, 김수덕, "도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급의 경제성 분석", 한국신재생에너지학회 춘계학술대회논문집, pp.333~338, 2006.
 (3) National Renewable Energy Laboratory (NREL) Website, (<http://www.nrel.gov/homer/>)