Homer를 이용한 산업단지 계통연계 마이크로그리드 경제성 분석

나정승*,손남례*,양현창**,양승학*
호남대*, 제로에너지연구센터**

Economic Analysis of Grid-connected Microgrid of Industrial Complex Using Homer

Jeong-Sueng Na*, Nam-Rye Son*, Hyun-Chang Yang**, Seung-Hak Yang*
Honam University*, Zero Energy Research Center**

ABSTRACT

국내 마이크로그리드는 실증단지, 도서지역, 캠퍼스, 산업단지등에 구축되고 있다. 특히 산업단지는 수용가의 전기에너지 이용 효율화와 신재생에너지 전원을 활용한 전력거래를 위해 마이크로그리드를 구축하는 추세이다. 본 논문에서는 ESS(Energy Storage System) 복합운영을 통한 비용절감과 전력거래 수익창출 실증을 위하여 나주혁신도시 동수산업단지 내 계통과 연계된 제조업체(태산, 범한, 하이옥스)에 구축되는 마이크로그리드 경제성을 분석한다. 경제성 분석 툴인 HOMER를 이용하여 각 업체별 PV(PhotoVoltaic) 및 ESS용량에 따른 순 현재비용과 1[kWh]당 발전단가를 산출한다. 경제성 분석을 위해 각 제조업체의 최근 1년간 부하량과 산업용 전기요금기준, 기업체 소재지의 기후조건에 따른 태양광발전량, 각 기업체 마이크로그리드 실제구축비용을 입력하고, 공인할인율 5.5[%]와 유류비 1500[원/ℓ]를 기준으로 경제성을 분석한다. 분석을 바탕으로 개별 제조업체 부하 특성에 부합한 마이크로그리드 분산전원 및 설비 용량 선정과 운영방안을 제안한다.

1. 서론

산업단지 마이크로그리드는 우리나라 전력수요의 과반 이상을 차지하는 생산현장의 전기에너지 이용 효율화를 위해 구축되고 있다. 산업단지 마이크로그리드는 신재생 에너지원만으로 부하에 필요한 전력을 공급할 수 없기 때문에 전력계통과 반드시 연계되어야 한다. 전력계통과 연계된 산업단지 마이크로그리드 구축 시 신재생에너지원과 ESS로 구성된 분산전원의 최적용량 산정이 필요하다. 본 연구는 나주혁신도시 동수농공산단에 위치한 3개 제조업체(태산, 범한, 하이옥스)를 대상으로 구축하는 마이크로그리드에서 분산전원의 복합운영과 업체간 복합전력거래 운영기술 개발을 위한 선행 연구이다. 각 업체별 분산전원은 PV와 ESS로 구성되는데 최대수요전력 저감, 부하평준화, 수요반응 및 태양광발전 PPA(Power Purchase Agreement) 및 업체간 P2P(Peer to Peer) 거래를 위한 복합운영기술 개발을 위한 마이크로그리드 경제성 분석이 필요하다.[1] 경제성 분석을 위해 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 개발한 마이크로그리드 설계 프로그램인 HOMER를 사용했다. HOMER는 각 업체에 부하수요에 가장 경제적인 에너지원과 설비의 용량을 시뮬레이션, 최적화, 민감성 분석을 통해 제시한다. HOMER의 경제성 분석 결과는 순현재비용(NPC : Net Present rate), 발전단가(COE : Cost of Energy)가 가장 낮은 마이크로그리드 분산전원과 설비의 용량을 제시한다. HOMER를 이용한 경제성 분석과정은 마이크로그리드 분산전원과 설비 계통 구성과 각 요소의 기초자료 입력, 시뮬레이션 실행 및 분석 순으로 이뤄진다[2]

2. HOMER를 이용한 경제성 분석[3]

2.1 마이크로그리드 계통 구성

각 기업체 마이크로그리드 구성도는 그림1과 같다.

그림 1 마이크로그리드 구성도
Fig. 1 Mircrogrid Schematic

예산과 기업체 여건을 고려한 각 기업체의 마이크로그리드 기본설계 용량은 다음 표1과 같다.

표 1 마이크로그리드 기본설계용량
Table 1 Microgrid Basic design capacity

업체명	PV[kW]	ESS[kWh]	컨버터[kW]
태산	50	150	100
범한	50	200	100
하이옥스	97.5	100	100

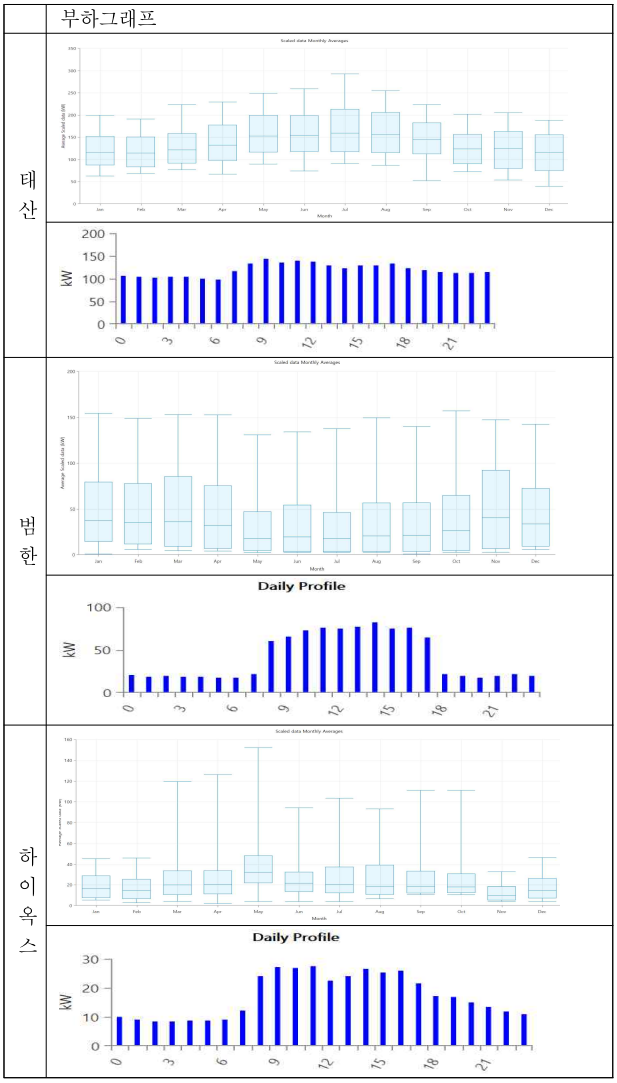
2.2 HOMER 입력자료

2.2.1 각 기업체 부하입력자료

부하량은 각 기업체의 2018년 1년동안 실제 사용량을 1시간 단위로 입력하였다. 각 기업체의 월별 및 일일 평균 부하량을 표2에 그래프로 나타내었다. 태산의 1일 평균 부하전력량 3,240[kWh/day], 평균부하전력 135[kW], 최대수요전력 292[kW], 부하율 0.46[%]이다. 범한의 1일 평균 부하전력량 673.5[kWh/day], 평균부하전력 28[kW], 최대수요전력 157.2[kW], 부하율 0.18[%]이다. 하이옥스의 1일 평균 부하전력량 451.5

[kWh/day], 평균부하전력 18[kW], 최대수요전력 152.2[kW], 부하율 0.12[%]이다.

표 2 월별 및 일일 평균 부하량
Table 2 Monthly and Daily Average Loads



2.2.2 태양광발전양 예측을 위한 입력자료

미국 NASA에서 제공하는 데이터베이스에서 나주혁신도시 동수농공산단의 위도와 경도를 입력하여 기후 데이터를 입력하였고 그림2는 농공산단 소재지의 월별 일사량과 청명도를 나타낸 그래프이다. 년 평균 일사량은 4.48[kWh/m^2/day]이고 청명도는 0.54이다.

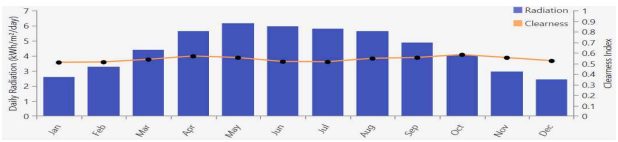


그림 2 월별 일사량과 청명도
Fig. 2 Monthly solar radiation and clarity

표 3는 마이크로그리드 구성 요소별 비용이다.(단위:만원) 비용은 실제 제품 구입 및 설치 비용을 적용하였다.

표 3 마이크로그리드 구성 요소별 비용(단위:만원)
Table 3 Costs by Microgrid Components(Unit: 10,000won)

구성요소	PV 50[kW]	ESS 100[kWh]	컨버터 100[kW]
수명(년)	25	10	10
설치비	9,670	8,200	3,200
교체비	4,835	4,100	1,600
운전비	20	50	32

2.3 시뮬레이션 결과

태산의 경제성분석 결과는 표4와 같다. Case Ⅰ은 기본설계 용량이고, CaseⅡ는 호머가 제시한 가장 경제적인 용량이며, Case Ⅲ는 태산의 년간 부하 총소비량의 30%정도를 태양광발전에서 공급할 때 용량이다.

표 4 경제성분석 결과(태산)
Table 4 Economic Analysis Result (Taesan)

경제성분석항목/Case	Case Ⅰ	Case Ⅱ	Case Ⅲ
PV[kW]	50	2,286	200
ESS[kWh]	150	150	150
컨버터[kW]	100	1,317	200
순현재비용(억원)	60.2	-12.1	49.7
발전단가(/kWh)(원)	306.3	-18.3	245
초기투자비용(억원)	2.3	49.4	5.5
교체비용(억원)	0.79	3.2	0.98
운영비용(억원)	3.5	-3.7	2.7
투자회수율(%)	21.0	17.6	24.4
내부수익율(%)	16.9	13.8	20.3
PV전력생산양[kWh/년] (비율%)	92,090 (7.8)	4,211,233 (87.9)	368,359 (29.9)
계통전력구매량[kWh/년] (비율%)	1,092,684 (92.2)	582,240 (12.1)	862,570 (70.1)
부하소비량[kWh/년] (비율%)	1,183,043 (100)	1,183,197 (29.6)	1,183,088 (96.7)
계통판매량[kWh/년] (비율%)	0 (0)	2,807,955 (70.4)	40,440 (3.31)

Case Ⅰ의 경우 순현재비용이 60.2억원, 발전단가 306.3[원/kWh], PV 생산비중이 7.8[%]로 전체발전량을 부하에 직접공급하고 계통에 판매하지 않는다. 초기투자비용이 2.3억원으로 가장 작아 경제적이지만 PV발전비율이 7.8[%]밖에 되지 않아 최대수요전력 저감을 위한 ESS운영의 한계가 있다. 태산의 경우 평균부하전력 135[kW], 최대수요전력 292[kW], 일평균 소비전력량 3,240[kWh]인데 1일 3시간 PV 50[kWh]발전으로 충전한 ESS 150[kWh]를 적절한 충방전제어 알고리즘을 적용하면 계약전력이 태산과 유사한 기업체에는 효과가 미미하지만 태산대비 계약전력이 작은 하이옥스와 같은 기업체를 대상으로 사용시 ESS복합운영의 효과를 기대할 수 있다.

Case Ⅱ의 경우 순현재비용이 -12.1억원, 발전단가 -18.3[원/kWh], PV 생산비율 87.9[%], 계통판매비율 70.4[%]이고 발전단가가 가장 낮다. PV생산비율이 높아 ESS 복합운영에 충분히 가능하지만 초기 투자비가 49.4억원으로 가장 높다. Case Ⅲ의 경우 순현재비용이 49.7억원, 발전단가 245[원/kWh], PV생산비율 29.9[%], 계통판매비율 3.31[%], 초기 투자비가 5.5억원이며 내부수익율 20.3[%]로 가장 높다. 초기투자비와 PV생산비율, 태산부하특성을 고려할 때 Case Ⅲ안이 태산의 전력비용

절감과 거래수익을 위한 ESS복합운영의 현실적인 대안이다.

범한의 경제성분석 결과는 표5와 같다. Case Ⅰ은 기본설계용량이고, CaseⅡ는 호머가 제시한 가장 경제적인 용량이다.

표 5 경제성분석 결과(범한)

Table 5 Economic Analysis Result(BeumHan)

경제성분석항목/Case	Case Ⅰ	Case Ⅱ
PV[kW]	50	674
ESS[kWh]	200	202
컨버터[kW]	100	682
순현재비용(억원)	11.5	-9.3
발전단가(/kWh)(원)	254	-44.5
초기투자비용(억원)	2.4	16.4
교체비용(억원)	0.88	2
운영비용(억원)	0.55	-1.5
투자회수율(%)	21.0	15.5
내부수익율(%)	16.9	11.8
PV전력생산양[kWh/년] (비율%)	92,090 (33.7)	1,241,369 (95)
계통전력구매량[kWh/년] (비율%)	181,375 (66.3)	64,849 (5)
부하소비량[kWh/년] (비율%)	245,836 (90.5)	245,836 (19.5)
계통판매량[kWh/년] (비율%)	25,913 (9.5)	1,012,426 (80.5)

Case Ⅰ의 경우 순현재비용이 11.5억원, 발전단가 254[원/kWh], PV 생산비중이 33.7[%], 계통판매량 9.5[%], 초기투자비용이 2.4억원이다. 범한의 경우 평균부하 28[kW], 최대수요전력 157.2[kW], 일평균 소비전력량 673.5[kWh]인데 1일 3시간 PV 50[kWh]발전으로 충전한 ESS 150[kWh]인 기본설계용량으로도 범한의 부하대비 PV생산비중이 높아 ESS복합운영을 통한 최대수요전력 저감, 부하평준화, 전력거래를 통해 수익창출이 가능하다. Case Ⅱ의 경우 순현재비용이 -9.3억원, 발전단가 -44.5[원/kWh], PV 생산비율 95[%], 계통판매비율 80.5[%]이다. 발전단가가 가장 낮고 PV생산비율이 높아 ESS 복합운영에 충분히 가능하지만 초기 투자비가 16.4억원으로 Case Ⅰ대비 8배가 높다. Case Ⅱ가 순현재비용과 발전단가가 낮지만 초기 투자비가 높고 Case Ⅰ보다 내부수익율이 5.1[%] 낮으므로 초기투자비와 PV생산비율, 범한부하특성을 고려할 때 Case Ⅰ이 태산의 전력비용절감과 거래수익을 위한 ESS복합운영의 현실적인 대안이다.

하이옥스의 경제성분석 결과는 표6와 같다. Case Ⅰ은 기본설계용량이고, CaseⅡ는 호머가 제시한 가장 경제적인 용량이다.

표 6 경제성분석 결과(하이옥스)

Table 6 Economic Analysis Result(HiOx)

경제성분석항목/Case	Case Ⅰ	Case Ⅱ
PV[kW]	97.5	452
ESS[kWh]	100	103
컨버터[kW]	100	420
순현재비용(억원)	1.8	-5.7
발전단가(/kWh)(원)	40.5	-40
초기투자비용(억원)	1.2	10
교체비용(억원)	0.7	1.3
운영비용(억원)	0.038	-1
투자회수율(%)	162.7	15.2
내부수익율(%)	155.7	11.6
PV전력생산양[kWh/년](비율%)	179,575 (67.3)	832,491 (92.5)
계통전력구매량[kWh/년](비율%)	87,395 (32.7)	62,562 (7.5)
부하소비량[kWh/년](비율%)	164,783 (62.8)	164,783 (19.1)
계통판매량[kWh/년](비율%)	97,586 (37.2)	698,030 (80.9)

Case Ⅰ의 경우 순현재비용이 1.8억원, 발전단가 40.5[원/kWh], PV 생산비율이 67.3[%], 계통판매비율 37.2[%], 초기투자비용이 1.2억원이다. 발전단가가 태산과 범한대비 현저히 낮은 이유는 PV 97.5[kW]가 기설치되어 있어 구축비용입력에서 제외하였기 때문이다. 하이옥스의 부하가 평균부하전력 18[kW], 최대수요전력 152.2[kW], 일평균 소비전력량 451.5[kWh]으로 PV용량보다 현저히 작기 때문에 기본설계용량으로도 ESS복합운영을 통한 최대수요전력 저감, 부하평준화, 전력거래를 통해 수익창출이 가능하다. Case Ⅱ의 경우 순현재비용이 -5.7억원, 발전단가 -40[원/kWh], PV 생산비율 92.5[%], 계통판매비율 80.9[%]이다. 발전단가가 가장 낮고 PV생산비율이 높아 ESS 복합운영에 충분히 가능하지만 초기 투자비가 10억원으로 Case Ⅰ대비 8.3배가 높다. Case Ⅱ가 순현재비용과 발전단가가 낮지만 초기 투자비가 높고 Case Ⅰ보다 내부수익율이 144[%] 낮으므로 초기투자비와 PV생산비율, 하이옥스 부하특성을 고려할 때 Case Ⅰ이 태산의 전력비용절감과 거래수익을 위한 ESS복합운영의 현실적인 대안이다.

3. 결론

산업단지 마이크로그리드 분산전원의 최적용량설계를 위해 HOMER를 사용하여 경제성을 분석한 결과 태산의 경우 Case Ⅲ, 범한의 경우 Case Ⅰ, 하이옥스의 경우 Case Ⅰ이 경제적으로 판단된다. 각 기업체의 경우에서 HOMER가 제시한 가장 경제적인 Case는 순현재비용과 발전단가가 가장 낮았지만 초기투자비가 과도하게 높았다. 내부수익율은 HOMER의 Case보다 기본설계용량의 Case인경우가 높았다. 따라서 산업단지 마이크로그리드 분산전원 및 설비 용량의 설계 시 순현재비용과 발전단가만을 기준으로 마이크로그리드를 구축하기보다 각 기업체의 부하특성에 적합한 PV용량선정(30%내외), 초기투자비, 내부수익율을 종합적으로 판단하여 선정하는 것이 현실적인 대안이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20182410105210)

참 고 문 헌

[1] 황민수, "학교 부하패턴 기반의 PV경제운전을 위한 ESS적정 용량 산정 및 운영방안 연구", 박사논문, 숭실대학교, 2017

[2] 안희민, "계통연계형 마이크로그리드의 경제성 및 기후환경 영향연구", 박사논문, 세종대학교, 2019

[3] https://www.homerenergy.com/