

태양광 에너지저장장치(ESS) 경제성 분석 및 최적 용량 평가

Economy Analysis and Optimized Capacity Evaluation of Photovoltaic-Related Energy Storage System

이영훈¹, 성태현^{2*}

Young-Hun Lee¹, Tae-Hyun Sung^{2*}

〈Abstract〉

The purpose of this study is to analyze an economic assessment of PV-ESS systems based on the power generation performance data of solar power (PV) operating in domestic area, and to calculate the optimal capacity of the energy storage system. In this study, PVs in Gyeonggi-do, Jeollabuk-do, and Gyeongsangbuk-do were targeted, and PVs in this area were assumed to be installed on a general site, and the research was conducted by applying weights based on the facility's capacity. All the analysis was conducted using the actual amount of KPX transactions of PVs in 2019. In order to calculate the optimal capacity of PCS and BESS according to GHI, PV with a minimum/maximum/central value was selected by comparing the solar radiation before the horizontal plane between three years (2017-2019) of the location where PV was installed. As a result of the analysis, in Gyeonggi-do, if the REC weight decreases to 3.4 when there is no change in the cost of installing BESS and PCS, it is more economical to link BESS than PV alone operation of PV. In Jeollabuk-do, it was analyzed that if the REC weight was reduced to 3.6, it was more likely to link BESS than PV operated alone. In Gyeongsangbuk-do, it was analyzed that if the REC weight was reduced to 3.4, it was more likely to link BESS than PV operated alone.

Keywords : Photovoltaic, Energy Storage System, Economy Analysis, Optimized Capacity

1 정회원, 한양대학교 전기공학과 박사과정

2* 정회원, 한양대학교 전기공학과 교수

E-mail: sungth@hanyang.ac.kr

1 Dept. of Electrical Engineering

2 Dept. of Electrical Engineering Prof.

1. 서론

지구온난화가 세계 기후변화에 위협으로 작용하면서, 전 세계는 기후협약에 따라 신재생에너지의 중요성이 점점 커지고 있다. 그러나 이러한 추세는 매년 전력수요의 증가와 더불어 태양광발전과 같은 신재생에너지의 불안정성에 대한 전력 부하관리와 피크관리에 대한 대응방안을 요구하고 있다. 이에 따라 전력 피크관리에 효과적인 에너지저장장치(Energy Storage System; ESS) 기술이 대안으로 제시되고 있다. 에너지저장장치는 남은 잉여전력을 저장하고 피크시간에 사용할 수 있도록 해주는 전력 공급 장치로서 저부하시에 전력을 저장하여 과부하시에 부하 평준화를 통하여 전력 운영을 최적화 할 수 있다.

저장이 쉽지 않은 전기에너지의 특성상 전력시스템은 공급과 수요를 실시간으로 일치시켜야 한다는 요구사항을 지니고 있으며, 이 점을 보완하기 위하여 항상 일정량의 예비력을 보유해야 하는 시스템을 갖추고 있어야 한다. 최근 이러한 문제의 대응책으로 태양광 발전 (Photovoltaic, PV) 및 에너지저장장치가 특히, 주목을 받고 있다[1]. 미국, 일본, 유럽 등의 국가에서는 전력 부하관리에 대한 중요성을 인식하고 전력수급 안정화를 위한 에너지저장장치 산업 육성을 위해 보급사업 및 지원정책을 추진하고 있다. 우리나라도 이러한 추세에 따라서 ESS보급을 계획하고 있으며, 2020년 까지 누적 20만kW 보급을 추진하고 있다[2].

ESS 누적용량을 늘리기 위해 정부는 에너지저장장치(ESS) 보급촉진을 위한 다양한 인센티브 제도를 도입하고 있다. 신재생에너지 확대 계획과 더불어 태양광 발전과 에너지저장장치(ESS) 연계 시 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치를 5.0 부여하는 것도 에너지저장장치(ESS) 보급을 위한 인센티브 제도라고 할 수 있다. 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC)는

발전사업자가 신재생에너지 설비를 이용하여 전기를 생산·공급하였음을 증명하는 인증서를 말한다.

또한 한국에너지공단 신재생 에너지 센터는 2017년 3월 21일부터 시행되는 ‘신재생에너지 공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙’에 따라서 태양광 발전설비로부터 전력을 공급받아 에너지저장장치에 저장하고 방전시간에 계통으로 방전(송전)하는 전력량에 한해서 REC 가중치 5.0을 부여하기로 한 바 있다[3].

그러나 정부의 이러한 보급사업과 지원정책에도 불구하고 에너지저장장치 설비 투자에 대한 경제성 확보의 불확실성은 에너지저장장치의 전국적인 보급을 제약하는 원인 중 하나로 작용하고 있다. 에너지저장장치 보급계획 가운데 태양광 에너지저장장치 연계발전에 따른 발전사업자의 비용증가에 대한 구체적인 경제성 분석과 효과적인 도입에 대한 심층적인 연구가 필요하다. 태양광 발전에 에너지저장장치를 연계하였을 때 발생하는 수익구조를 확인하고 그에 따라 최적의 경제성을 확보할 수 있는 에너지저장장치 설비용량을 선정할 필요가 있다.

그러나 현재 국내에서는 에너지저장장치의 용량 산정에 대한 연구가 다수 진행되어 왔으나 전국의 모든 지역이 아닌 특정 지역에 대한 태양광발전 자료를 토대로 수행된 연구결과이므로 해당 지역에서만 적용이 가능하다는 점에서 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 실제 국내에서 가동 중인 태양광 발전(PV)의 발전량 실적자료를 토대로 하여 PV-ESS 시스템에 대한 경제성 평가를 수행하고, 이를 통해 에너지저장장치의 최적의 설비 용량을 산정하는데 있다.

2. 이론적 배경

2.1 에너지저장장치(ESS) 개요

대규모 전력계통에 서는 전력수요의 예측에 어

려움이 있고 이를 추종하여 발전원의 출력을 조정하는 것 또한 많은 전력설비의 증설과 운전비용이 소요되는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 형태의 전기에너지 저장장치가 고안되고 있다. 최근 스마트 그리드를 중심으로 전기에너지의 저장 및 품질, 그리고 에너지사용의 효율화를 극대화 시킬 수 있는 배터리ESS에 대한 관심과 기술개발이 선진국을 중심으로 빠르게 진행되고 있다. 배터리ESS는 발전레벨, 송배전레벨, 소비자 등 전력의 생산과 수송, 소비 등 계통 전반에 걸쳐서 적용가능하다. 특히 배터리 기술의 발전이 좀 더 이루어지고 배터리가격이 내려가게 되면 전력계통 전범위에 걸쳐서 활용이 가능하고, ESS 소유자와 계통운영자 모두에게 이익을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

전력계통에 연계된 ESS는 크게 3가지로 활용하고 있다. 첫째, 수요관리자원(Demand Response Resource)과 예비력공급(Ancillary power service)으로 활용함으로써 양수발전을 대체하는데 활용할 수 있다. 둘째, 주파수조정(Frequency Response) 보조서비스에 활용함으로써 실시간으로 변하는 주파수에 ESS의 충·방전으로 에너지를 흡수하고 공급하는 빠른 응답속도로 증·감발운전이 가능하다는 점에서 기준주파수 근처에서 실시간으로 변하는 계통주파수를 보정하는데 활용할 수 있다. 셋째, 비상발전기를 대체하여 즉각적인 전력을 공급하여 사고로 인한 정전피해를 줄이는데 활용할 수 있다[4].

한편, 태양광발전과 연계된 에너지저장시스템은 태양광발전에 의해서 생산된 전력이 에너지저장장치에 저장되어 지정한 시간에 계통에 방전하게 되는 시스템을 의미한다. 시스템의 구성은 배터리, PCS, BMS, 계통연계시스템, 계량장치 등으로 구성되어 있다. 태양광연계용 에너지저장장치에 가중치를 주기 때문에 이에 대한 관리와 시스템에서

상전원이 배터리로 전력이 유입되지 못하도록 장치가 필요하게 된다. 이를 위해서 PCS는 태양광 발전에서 생산된 전력을 충전하고 방전하도록 제어한다.

2.2 선행연구 고찰

태양광 발전과 에너지저장장치의 경제성 평가 및 최적 용량에 대한 주요 선행연구를 고찰하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

Lee et al.(2018)[5]은 NPV기법을 통해 PV-ESS 시스템의 경제성을 분석하였다. 그 결과, PV 시스템 용량이 100 kW일 때 현재 ESS 설치비용에 대한 전제를 통해 최적 용량의 비는 2.28 배로 나타났으며, 태양광 단일 시스템과 비교하였을 때 회수 기간이 가중치 5.0을 적용 받아도 기간이 3~4 년 더 소요되는 것으로 분석되었다. 또한, 향후 ESS의 설치비용 절감 효과를 고려하여 분석한 결과, kWh당 78만원 이하로 절감될 경우 최적 용량의 비는 2.55배, 회수 기간은 6~7년으로 나타났다으며, 현재 가격과 비교하였을 때보다 2~3 년이 단축되는 결과를 제시하였다.

Baek et al.(2018)[6]은 REC 가중치를 활용하여 기존 건물 옥상에 설치되어 있는 100 kW태양광 발전기에 BESS를 연계했을 경우의 경제성을 배터리 단가와 REC 가격에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 이 때 편익-비용 비율(B/C ratio)과 순 현재가치(Net Present Value, NPV)를 통해 분석을 수행하였다. 그 결과, PV에 BESS를 추가로 설치한 경우 PCS 와 배터리뱅크의 최적 구성비 0.25를 산출하였다. 또한, NPV는 용량이 커질수록 증가하다가 90 kW/320 kWh에서 감소하였다. 따라서 PCS 용량은 90 kW, 배터리의 뱅크용량은 320 kWh가 최적의 값으로 나타났다.

Choi et al.(2018)[7]은 PCS 와 배터리의 용량

산정과 함께 최적 운영 스케줄링으로 PV에 BESS를 연계한 시스템의 효율을 높이는 것을 목적으로 하고 기존의 순차적 충전 및 방전 방법에서의 효율을 향상시키기 위해 2017년 광주광역시 자료를 토대로 SMP를 분석하였다. 또한, REC 가중치 5.0을 받기 위하여 각 구간별 운영방식을 달리 적용하였다. 또한 최대 수익을 낼 수 있는 운영 스케줄링 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 최적 PCS 및 배터리 용량을 산정하였다. 배터리 충전 구간의 최적 운영 스케줄링은 일사량 예측하여 계산된 PV 발전량을 근거로 BESS의 완전 충전 여부를 판단한 후 구간 내 SMP 판매에 따른 BESS 충전 시간대를 스케줄링 하였다. 그 결과 배터리 충·방전 구간에서 모두 수익이 증가함을 보여주었다. PV 설비용량 1 MW일 때의 SMP 가격 연동 최적 운영 스케줄링 방법을 사용하여 경제성 평가한 결과 적정 PCS 용량은 700 kW, 배터리 용량은 3 MWh으로 나타났다.

Lee et al.(2018)[8]은 국내 ESS REC 가중치를 반영하여 제주도 지역 전력계통을 대상으로 전력 판매 수익을 이용한 최적 ESS 용량 산정에 관한 연구를 수행하고자 하였다. 이를 위해 제주도에 설치된 전체 태양광, 풍력 발전기에 ESS를 설치하는 것으로 가정하였으며, 가중치 변화에 따른 예상 시나리오를 개발하였다. 또한, GAMS(General Algebraic Model System)를 활용하여 최적화모형을 구성하였다. 그 결과, 가중치가 높은 상태로 계속 유지되는 시나리오에서는 태양광, 풍력설비용량이 증가함에 따라 ESS 용량 또한 증가하였으나 가중치가 낮아질수록 수익성이 높은 초기 계획 기간에만 ESS가 투입되는 결과를 나타난 바 있다.

Oh et al.(2018)[9]은 국내 정책을 적용하여 PV-ESS 인해 발생하는 SMP, REC 두 가지 수익을 이용하여 NPV가 최댓값일 때가 바로 최적 용량임을 제시하였다. 광주 기상자료와 PVWatts4

프로그램을 사용하여 가상으로 100 kW의 PV의 발전량을 산정하였다. 가중치 적용 시간(충전:10-16시, 방전:16-10시)을 적용하여 충·방전 알고리즘을 개발하였다. 분석 결과, ESS 용량이 330 kWh일 때, NPV가 최댓값을 나타냈으며 PCS 용량은 66 kW일 때 NPV가 최댓값을 보임으로써 최적치를 제시하였다.

한편, Lee & Choi(2018)[10]은 대학교 내 건물에 적용된 태양광 발전과 ESS의 수명에 따른 절약비용 합계와 투자비용을 비교하여 최적의 용량을 선정하였다. 즉, 영남이공대학교 전기관에 피크 전력 20kW의 5%에 해당하는 태양광발전 1kW를 설치하였을 경우, 설치비용은 1,650,000원이며 절약 비용 합계는 207,500원으로 투자비용 회수기간은 약 7.95년으로 가장 짧으며 태양광 수명인 20년을 반영하여 절약되는 전기 요금 합계와 투자비용을 비교하여 구한 태양광 발전의 최적 용량은 30kW이다.

3. 연구방법

3.1 조사대상 및 방법

BESS와 연계된 PV는 설비 용량과 설치장소에 따라 가중치를 달리 적용 받게 되게 때문에 PV의 설비 용량과 설치장소를 확인하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 경기도, 전라북도, 경상북도 PV를 대상으로 하였으며, 이 지역 PV가 일반 부지에 설치된 것으로 가정하고 설비 용량에 따른 가중치를 적용하여 연구를 진행하였다. 현재 KPX에서 거래되고 있는 PV 가운데 REC 가중치 1.2를 적용받는 100 kW 미만인 PV는 249개소, 가중치 0.7을 적용받는 3 MW 초과인 PV는 52 개소로 가

중치 1.0을 적용받는 100 kW 이상 3 MW 이하인 1,149개소에 비하여 적게 설치되어 있다.

이에 본 연구에서는 REC 가중치 1.0을 적용받는 100 kW 이상 3 MW 이하인 PV 1,149 개소 가운데 상세 주소가 있는 PV 219 개소의 시간별 발전량과 219 개소 PV의 시간 별 수평면 전 일사량을 비교 분석하였다.

본 연구에서는 실제 가동 중인 PV의 2019년도 KPX 거래량을 이용하여 연구를 진행하였다. GHI에 따른 PCS와 BESS의 최적용량을 산정하기 위해서 PV가 설치된 위치의 3년(2017~2019) 간의 수평면 전 일사량을 비교하여 최소/최대/중앙값의 일사량을 가지는 PV를 선정하여 진행하였다.

3.2 PV-BESS 시스템 경제성 분석 방법

PV-BESS 시스템의 경우 경제성을 확보하기 위해서 REC 가중치에 대한 분석이 필요하다. 이에 따라 BESS 설치 유무에 따른 경제성을 분석하고 가중치 감소에 따라 경제성이 생기는 최소 BESS의 설치비용을 계산하고자 하였다. 본 연구에서는 PV를 신규로 설치한다고 가정한 후에 연구를 진행하기 때문에 PV의 초기 발전량을 산정하는 것이 필요하다. PV의 초기 발전량은 설치 년도를 기준으로 연간 0.8%의 성능 감소를 갖는다고 가정하고 발전량 데이터를 사용한 2019년도까지의 가동 년도(y)를 고려하여 산정하였다. BESS 설치 유무에 따른 경제성 비교는 LCOE를 이용하여 진행하였다. BESS 수명은 15년으로 가정하고 PV의 수명은 20년으로 가정하였기 때문에 BESS 가 가동하지 않는 5년 동안 PV가 단독으로 가동하는 것으로 가정하고 진행하였다.

경제성 분석을 위한 PV 전제조건은 태양광 발전 균등화 비용에 대한 연구 자료인 한국전력거래소 자료를 활용하여 본 연구에서는 2019년도 기

준 PV의 설치비용을 1,600 천원/kW으로 가정하였고, OPEX의 경우 CAPEX의 2%로 가정하여 분석을 수행하였다. 또한, 정해진 시간 즉, 오전 10시부터 오후 4시 까지 총 6시간 동안의 BESS에 충전, 그리고 오전 10시부터 오후 4시 까지 총 6시간 동안에 방전된 태양광 발전량에만 REC 가중치 5.0이 적용되기 때문에 해당 시간이 아닌 시간에 발전된 태양광 발전량의 경우에는 REC 가중치를 1.0으로 적용되는 것으로 가정하였다.

4. 연구결과

4.1 REC 가중치에 따른 PCS, BESS 최적 용량

REC 가중치는 1.0 부터 5.0 까지 0.5 씩 증가시키면서 연구를 진행하였고 PCS 용량은 PV 용량의 0.1 배에서 0.8 배까지, BESS 용량은 PV 용량의 0.5배에서 5.0배까지 0.1 씩 증가시키면서 3 가지 PV의 사례들에 대하여 MATLAB 프로그램을 활용하여 분석하였다.

먼저, 경기도에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과, REC 가중치를 0.5 간격으로 감소시켰을 때, 경기도 PV의 경우 전남, 경남 PV와 비교하였을 때 단독 운영하는 PV의 경제성이 낮기 때문에 BESS 설치에 대한 경제성이 높게 나타났다. REC 가중치 3.0 이상일 때 PV 단독 운영과 비교하여 BESS 설치에 대한 경제성이 발생하였다. PCS와 BESS의 최적 용량은 PV 용량과 비교가 용이하도록 PV의 배수로 표현하였다. 설치비용을 고정시키는 경우 REC 가중치가 감소함에 따라 BESS 설치에 따른 경제성이 감소하므로 최적 PCS와 BESS의 최적 용량도 감소하는 것을 Table 1을 통해 확인 할 수 있으며 2.5 이하로 떨어지는 경우에는

Table 1. Optimal capacity of PCS, BESS due to PV, REC weighting factor reduction (Gyeonggi-do)

REC 가중치	LCOE (원/kWh)	PCS 용량 (배수)	BESS 용량 (배수)
5.0	116.82	0.4	2.4
4.5	125.79	0.3	1.9
4.0	135.77	0.3	1.8
3.5	145.81	0.2	1.3
3.0	154.33	0.1	0.6

Table 2. Optimal capacity of PCS, BESS due to PV, REC weighting factor reduction(Jeollabuk-do)

REC 가중치	LCOE (원/kWh)	PCS 용량 (배수)	BESS 용량 (배수)
5.0	96.74	0.4	2.8
4.5	104.60	0.3	2.2
4.0	112.93	0.3	2.1
3.5	120.50	0.1	0.7

PV 단독 운영 하는 것이 BESS 설치하는 것에 비하여 경제성이 높은 것으로 나타났다.

다음으로, 전라북도에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과, REC 가중치를 0.5 간격으로 감소시켰을 때, 전라북도 PV의 경우 제주 PV에 비하여 상대적으로 단독 운영하는 PV의 경제성이 높은 것을 LCOE를 비교하여 확인할 수 있다. BESS를 설치하는 경우에는 REC 가중치 3.5 이상일 때 PV 단독 운영보다 LCOE 값이 작기 때문에 경제성이 발생하였다. 설치비용을 고정시키는 경우 REC 가중치가 감소함에 따라 BESS 설치에 따른 경제성이 감소하므로 최적 PCS와 BESS의 최적용량도 감소하는 것을 Table 2를 통해 확인할 수 있으며 3.0 이하로 떨어지는 경우에는 PV 단독 운영 하는 것이 BESS 설치하는 것에 비하여 경제성이 높은 것으로 나타났다.

다음으로, 경상북도에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과, REC 가중치를 0.5 간격으로 감소시켰

Table 3. Optimal capacity of PCS, BESS due to PV, REC weighting factor reduction(Gyeongsangbuk-do)

REC 가중치	LCOE (원/kWh)	PCS 용량 (배수)	BESS 용량 (배수)
5.0	101.95	0.4	2.7
4.5	110.43	0.4	2.6
4.0	119.69	0.3	2.1
3.5	129.17	0.2	1.4

을 때, 경상북도 PV는 REC 가중치 3.5 이상일 때 BESS 설치에 대한 경제성이 PV 단독 운영보다 높은 것을 LCOE를 통해 확인할 수 있다. 설치비용을 고정시키는 경우 REC 가중치가 감소함에 따라 BESS 설치에 따른 경제성이 감소하므로 최적 PCS와 BESS의 최적 용량도 감소하는 것을 Table 3을 통해 확인할 수 있으며 3.0 이하로 떨어지는 경우에는 PV 단독 운영 하는 것이 BESS 설치하는 것에 비하여 경제성이 높은 것으로 나타났다.

4.2 REC 가중치에 따른 경제성 분석

앞서 REC 가중치 5.0일 때의 BESS와 PCS의 최적 용량을 산정하였다. BESS와 PCS 설치에 따른 경제성을 분석하기 위해 BESS와 PCS가 각각 PV의 2.74배, 0.4배일 때 REC 가중치 감소에 따른 PV-BESS 시스템과 단독으로 운영하는 PV의 LCOE를 산정하여 경제성이 발생하는 BESS, PCS의 설치비용을 산정하였다.

한편, REC 가중치를 고려한 BESS의 최적 용량 산정에는 BESS의 용량 변화에 따른 경제성 분석이 필요하기 때문에 LCOE를 산정하여 진행하였다. LCOE는 연도별로 불규칙하게 발생하는 발전량과 소요 비용(건설비, 연료비, 운전 유지비 등)을 연도별로 균일하게 폐의 시간적 가치를 고려하여 발전량과 비용을 일정시점으로 할인하여 순

현재 가치화하여 산정한다. LCOE는 NPV가 0이 되는 비용을 나타낸다. LCOE 가 명목가치임을 감안하여 미래의 발전량과 LCOE를 현금 흐름의 현재 가치가 비용 흐름의 현재가치를 감안하여 동일하도록 산정하는 것이다. 본 연구에서는 REC 가중치 감소와 BESS 설치비용 하락에 따른 경제성 분석을 LCOE 를 이용하였으며, 이를 단독으로 가동되는 PV의 LCOE와 상호 비교를 통해 경제성을 분석하였다.

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{i=1}^T \frac{OPEX}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^T \frac{(1-d)^i \times P}{(1+r)^i}}$$

여기서,

- CAPEX : 설치비용(원/kW)
- OPEX : 유지보수비용(원/kW)
- P : 태양광 발전량(kWh)
- d : 성능 감소율(%)
- r : 할인율(%)

위 식에서 CAPEX는 태양광 모듈, 인버터, 주변 기기(BOP, Balance of Plant), BESS, PCS, 설계, 조달 및 시공(Engineering Procurement and Construction EPC), 기타 비용을 포함하고, OPEX은 유지/보수 비용을 말한다. T는 PV와 BESS, PCS의 수명을 나타내고, r은 할인율(Discount rate), d는 성능 감소율(Degradation factor), P는 태양광발전기의 발전량이다.

먼저, 경기도에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과, 단독으로 운영하는 경기도 PV의 LCOE는 155.81 원/kWh이므로 이보다 LCOE 값이 작을 경우 경제성이 있다고 판단하였다. PV-BESS 시스템의 가중치 변화에 따른 LCOE 는 Table 4 및 Fig. 1과 같다.

Table 4. LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Gyeonggi-do)

REC 가중치	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1
LCOE (원/kWh)	148.62	151.61	154.77	158.10	161.40	164.95

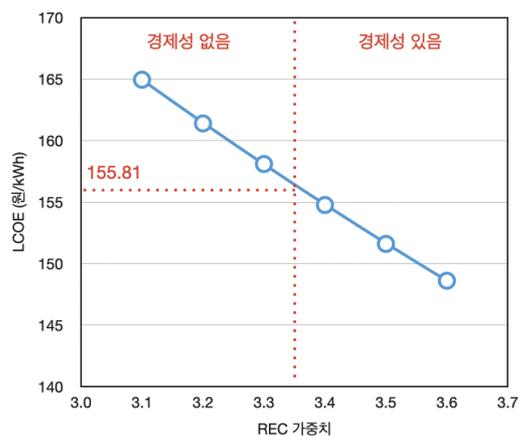


Fig. 1 LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Gyeonggi-do)

Table 4에서 보는 바와 같이, BESS와 PCS 설치비용의 변화가 없는 경우에는 REC 가중치가 3.4까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 한편, REC 가중치가 3.0, 2.5, 2.0로 감소하는 경우, BESS와 PCS 설치비용을 현재 설치비용의 90%에서 40%까지 변화시킴으로써 BESS 설치에 따른 LCOE를 산정하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

분석결과, REC 가중치가 3.0으로 감소하는 경우에는 BESS와 PCS 설치비용이 현재 연구에 사용된 설치비용의 80%로 감소하는 경우 경제성이 발생하였고, REC 가중치가 2.5와 2.0의 경우에는 각각 60%, 40%까지 감소하는 경우에 경제성이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 5. LCOE of PV-BESS systems due to reduced installation costs(Gyeonggi-do)

	REC 가중치 3.0	REC 가중치 2.5	REC 가중치 2.0
현 설치비용 90%	161.30	181.50	207.49
현 설치비용 80%	152.98	172.14	196.79
현 설치비용 70%	-	162.78	186.09
현 설치비용 60%	-	153.42	175.39
현 설치비용 50%	-	-	164.69
현 설치비용 40%	-	-	153.99

다음으로, 전라북도에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과, 단독으로 운영하는 전라북도 PV의 LCOE는 122.73원/kWh이므로 이보다 LCOE 값이 작은 경우 경제성이 있다고 판단하였다. PV-BESS 시스템의 가중치 변화에 따른 LCOE는 Table 6 및 Fig. 2와 같다.

Table 6에서 보는 바와 같이, BESS와 PCS 설치비용의 변화가 없는 경우에는 REC 가중치가 3.6까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영 하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 높은 것으로 분석되었다. 한편, REC 가중치가 3.0, 2.5, 2.0로 감소하는 경우, BESS와 PCS 설치비용을 현재 설치비용의 90%에서 40%까지 변화시킴으로써 BESS 설치에 따른 LCOE를 산정하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다.

분석결과, REC 가중치가 3.0으로 감소하는 경우에는 BESS와 PCS 설치비용이 현재 연구에 사용된 설치비용의 70%로 감소하는 경우 경제성이 발생하였고, REC 가중치가 2.5와 2.0의 경우에는 각각 50%, 30%까지 감소하는 경우에 경제성이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 6. LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Jeollabuk-do)

REC 가중치	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3
LCOE (원/kWh)	116.92	129.17	121.39	123.79	126.20	128.79



Fig. 2 LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Jeollabuk-do)LCOE

Table 7. LCOE of PV-BESS systems due to reduced installation costs(Jeollabuk-do)

	REC 가중치 3.0	REC 가중치 2.5	REC 가중치 2.0
현 설치비용 90%	131.31	146.99	166.91
현 설치비용 80%	124.54	139.41	158.31
현 설치비용 70%	117.77	131.83	149.70
현 설치비용 60%	-	124.25	141.09
현 설치비용 50%	-	116.67	132.49
현 설치비용 40%	-	-	123.88
현 설치비용 30%	-	-	115.27

Table 8. LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Gyeongsangbuk-do)

REC 가중치	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1
LCOE (원/kWh)	128.95	131.60	134.31	137.09	140.12	143.25

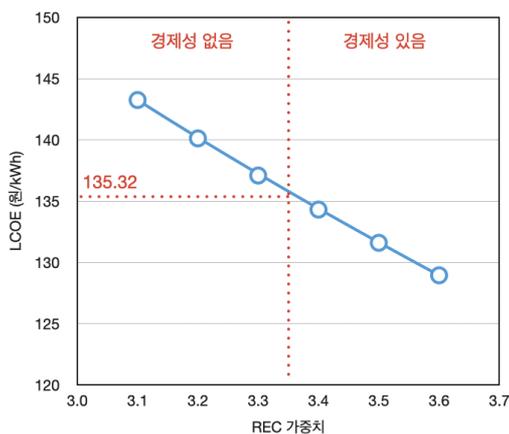


Fig. 3. LCOE of PV-BESS systems due to REC reduction(Gyeongsangbuk-do)

Table 9. LCOE of PV-BESS systems due to reduced installation costs(Gyeongsangbuk-do)

	REC 가중치 3.0	REC 가중치 2.5	REC 가중치 2.0
현 설치비용 90%	140.11	157.65	180.22
현 설치비용 80%	132.88	149.52	170.92
현 설치비용 70%	-	141.39	161.63
현 설치비용 60%	-	133.26	152.34
현 설치비용 50%	-	-	143.05
현 설치비용 40%	-	-	133.75

마지막으로, 경상북도에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과, 단독으로 운영하는 전라북도 PV의

LCOE는 135.32원/kWh이므로 이보다 LCOE 값이 작은 경우 경제성이 있다고 판단하였다. PV-BESS 시스템의 가중치 변화에 따른 LCOE는 Table 8 및 Fig. 3과 같다.

Table 8에서 보는 바와 같이, BESS와 PCS 설치비용의 변화가 없는 경우에는 REC 가중치가 3.4까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 경제성이 높은 것으로 분석되었다. REC 가중치가 3.0, 2.5, 2.0로 감소하는 경우, BESS와 PCS 설치비용을 현재 설치비용의 90%에서 40%까지 변화시킴으로써 BESS 설치에 따른 LCOE를 산정하였으며, 그 결과는 Table 9와 같다.

분석결과, REC 가중치가 3.0으로 감소하는 경우 BESS와 PCS 설치비용이 연구에 사용된 설치비용의 80%로 감소하는 경우 경제성이 발생하였고, REC 가중치가 2.5와 2.0의 경우에는 각각 60%, 40%까지 감소하는 경우에 경제성이 발생하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 가동 중인 태양광 발전(PV)의 발전량 실적자료를 토대로 하여 PV-ESS 시스템에 대한 경제성 평가를 수행하였고, 이를 통해 에너지저장장치의 최적의 설비 용량을 산정하였다. 이를 위해 경기도, 전라북도, 경상북도 PV를 대상으로 하였으며, 이 지역 PV가 일반 부지에 설치된 것으로 가정하고 설비 용량에 따른 가중치를 적용하여 연구를 진행하였다. 모든 분석은 실제 가동 중인 PV의 2019년도 KPX 거래량을 이용하여 연구를 진행하였다. GHI에 따른 PCS와 BESS의 최적용량을 산정하기 위해서 PV가 설치된 위치의 3년(2017~2019) 간의 수평면 전 일

사량을 비교하여 분석을 수행하였다.

분석결과, 경기도의 경우 BESS와 PCS 설치비용의 변화가 없는 경우에는 REC 가중치가 3.4까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 전라북도의 경우 REC 가중치가 3.6까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영 하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 높은 것으로 분석되었다. 경상북도의 경우 REC 가중치가 3.4까지 감소하는 경우 PV가 단독으로 운영하는 것보다 BESS를 연계하는 것이 높은 것으로 분석되었다. 본 연구는 기존의 연구가 주로 특정 지역에 대한 태양광발전 자료를 토대로 ESS 경제성 평가 및 최적 용량을 분석한 것에 비해 전국의 주요 지역을 전반적으로 모두 다루어으로써 연구결과의 지역적 제한이 없이 보다 일반화된 연구를 제시하였다는 점에서 연구의 의의를 찾을 수 있다. 아울러 추후 후속연구에서는 ESS 경제성 평가 및 최적 용량에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인들을 고려한 추가적인 분석이 수행될 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Sung-Soo Kim, "A Study on the Profit Analysis of PV Power Generation based on Economic Assessment of Newly-built Building ESS", Doctoral thesis, Konkuk University, (2019).
- [2] 산업통상자원부, 법률 제 14670 호 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법(신재생에너지법)」, 시행 2017.09.22.
- [3] Min-Su Kang, "Analysis Economic Through The Optimal Capacity Calculation Model Of Energy Storage System Connected With Solar Power Generation", Master's thesis, The University of Seoul (2018).
- [4] Hyun-Gu LEE, "Design Algorithm for Estimating the Capacity of ESS Connected with Photovoltaics", Doctoral thesis, Konkuk University (2019).
- [5] Yeo-Jin Lee, Sung-Yeol Kim & Se-Kyeong Han, "A Study on the Energy Saving Capacity of Solar Power Generation System using Economic Evaluation", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers, Vol.67, No.1, pp. 21-26, (2018).
- [6] Min-Kyu Baek, Jong-Bae Park, Sung-Yong Son, Ha-Sang Shin & Yong-Ki Park, "A Study of Optimum Capacity of Battery Energy Storage System Linked PV", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers, Vol.67, No.1, pp. 38-45, (2018).
- [7] Yun-Suk Choi & Seung-You Na, "A Study of Optimum Capacity of Battery Energy Storage System Linked PV", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers, Vol.67, No.9, pp. 1174-1180, (2018).
- [8] Sung-Woo Lee, Hyoung-Tae Kim, Han-Sol Shin, Tae-Hyun Kim & Wook Kim, "A Study on the Estimation of Optimal ESS Capacity Considering REC Weighting Scheme", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers, Vol.67, No.8, pp. 1009-1018, (2018).
- [9] S.M. Oh, J. H. Kong, W. J. Lee & J. S. Jung, "Development of Optimal Energy Storage System Sizing Algorithm for Photovoltaic Supplier in South Korea", IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), pp. 1-5, (2018).
- [10] Hye-Jin Lee & Jeong-Won Choi, "Calculation of Photovoltaic, ESS Optimal Capacity and Its Economic Effect Analysis by Considering University Building Power Consumption", Vol.21, No.5, pp. 207-217, (2018).