ISSN 1229-800X The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67P, No. 1, pp. 21~26, 2018
http://doi.org/10.5370/KIEEP.2018.67.1.021

경제성 평가를 통한 태양광발전시스템 연계형 에너지저장장치 용량 선정에 관한 연구

A Study on the Energy Saving Capacity of Solar Power Generation System using Economic Evaluation

이 여 진* · 김 성 열* · 한 세 경†
(Yeo-Jin Lee · Sung-Yul Kim · Se-Kyung Han)

Abstract - Due to the international environmental regulations and changes in policies, the demand for generators using the renewable energy is increasing. However, renewable energy generators with intermittent output characteristics such as solar and wind power generators, need the buffer facilities such as ESS during system operations. However, because of low price competitiveness in energy storage system, it is difficult to operate the renewable energy generator with ESS. Therefore, the government has recently proposed a policy to compensate the REC for renewable energy system with ESS. For all this, since the initial cost of the ESS is high, it is the most important to calculate and operate the optimal capacity of the ESS through an economic analysis. In this paper, we proposed the method of calculation the optimal capacity of ESS and analyzed economic feasibility of renewable energy system using the ESS according to depreciation in ESS price.

Key Words : Energy storage system, Photovoltaic system, Renewable energy certificate

1. 서 론

현재 국제적 환경에 대한 규제 및 탈탄소를 위한 에너지 정책 변화에 따라 신재생에너지를 이용한 발전 형태에 대한 수요가 급증하고 있다. IEA 분석에 따르면 최종 소비 효율 향상과 재생에너지가 기온 4℃ 증가 경로에서 2℃경로로 전환하는 과정에서 온실가스 감축 기여도가 각각 36%, 29%로 가장 큰 것으로 분석하고 있다[1]. 현재 화석연료가 세계 발전량의 약 68%를 차지한다. 지구 기온 증가 2℃ 목표를 달성하기 위해서 세계 전력생산은 완전한 탈탄소가 되어야한다. 이로 인해 세계의 신재생에너지는 태양광과 풍력의 투자가 증가하고 있으며 매년 전망보다 큰 규모로 형성되고 신재생에너지발전시스템 중 태양광발전시스템은 2016년 신재생에너지 용량의 2/3을 차지한다. 이는 가장 큰 시장 규모를 가지는 중국에서의 태양광의 급성장으로 비용절감 및 정책지원 증가의 결과이다. 향후 5년 동안 태양광은 다른 발전원에 비해 월등히 높은 연간 생산량을 나타낼 것으로 전망된다. 특히 일본의 경우 최근 후쿠시마 원전사고로 인해 신재생에너지에 대한 신뢰가 증가하고 있으며 지원정책 또한 증가하고 있다[2].

우리나라는 국정운영 5개년 계획에서 신재생에너지 발전 비중을 2030년까지 20%로 확대하기로 했으며 신재생에너지 공급의무비율 목표를 기존의 10%에서 28%로 상향 조정하였다. 이러한 보급목표를 달성하기 위해 신재생에너지공급의무화제도, 발전차액지원제도, 보조금 지원 등 다양한 지원정책을 시행하고 있다. 그 중 앞서 말한 신재생에너지공급의무화제도란 일정규모(500MW)이상의 발전설비(신재생에너지설비를 제외한)를 보유한 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지를 이용하여 공급토록 의무화한 제도이다. 발전사업자는 대상설비를 확인 받은 후 신재생에너지센터에 신고를 하면 공급인증서 발급 및 거래가 가능하다. 신재생에너지공급의무화제도에 의해 발급되어 거래되는 신재생에너지 공급인증서(REC: Renewable Energy Certificate)는 태양광과 기타 신재생에너지로 구분되어 가중치가 부과되어 발급된다. REC는 MWh단위이며 태양광의 경우 0.7~5.0까지 가중치가 부여된다. 가장 높은 5.0는 에너지저장장치가 연계된 태양광발전시스템이다. 해당 가중치는 설비용량에 따른 구분이 없다[3].

에너지저장장치(ESS: Energy Storage System)는 생산된 전기를 저장장치에 저장하여 전력수요에 따라 저장전력을 공급하여 전력 사용 효율 향상시키는 장치이다. ESS는 주파수조정, 신재생에너지연계, 수요반응, 비상발전 등에 활용가능하며 전력피크 억제, 전력품질 향상 및 전력수급 위기에 대응 가능하다. 현재 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템은 가장 높은 가중치인 5.0가 적용되어도 태양광 단독 발전시스템보다 경제성이 높지 못하다[4].

따라서 본 논문은 가중치 5.0가 적용된 에너지저장치가

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National University, Korea
E-mail : sekyung.han@gmail.com
* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Keimyung Univerity, Korea
접수일자 : 2018년 1월 21일
수정일자 : 2018년 2월 13일
최종완료 : 2018년 2월 22일

연계된 태양광발전시스템의 경제성평가를 통한 적정 시스템 용량을 선정한다. 경제성평가는 순현재가치(NPV: Net Present Value)분석을 통해 진행하였으며 REC 거래에 따른 에너지저장장치 계약기간인 15년을 사업기간으로 선정하였다.

2. 에너지저장장치

에너지저장장치는 앞서 말한 바와 같이 '물리, 화학, 전자기'작용을 이용한 전기에너지 저장장치가 있고 미래계통에서 활용 잠재성이 큰 2차 전지는 '화학' 작용 저장장치이다. ESS의 설비는 경제성, 출력, 용량, 가동 지속시간, 반응속도, 저장밀도, 설비수명 등의 특성이 있으며 전력계통에서 신재생 운영 보고, 주파수 조정, 부하평준화, E-프로슈머 등의 용도로 활용될 수 있으며 용도에 따라 요구되는 기능이 상이하다. 본 연구인 신재생에너지와 연계할 경우, 신재생에너지의 발전출력 특성인 간헐적이고 변동성이 큰 출력을 안정화 시킬 수 있으며 특정시간에 집중되는 발전 전력을 저장해두었다가 필요한 시간에 활용하는 역할을 한다[5].

2.1 에너지저장장치 충·방전

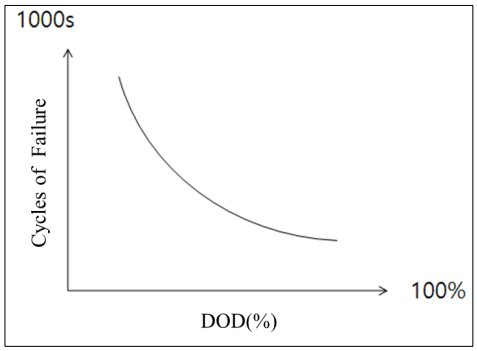

그림 1 DOD에 따른 수명 사이클 관계
Fig. 1 Life Cycle Relationship according to the DOD

에너지저장장치는 배터리의 현재 용량을 표시하는 척도로 배터리 잔존 용량(SOC; State Of Charge)를 사용하며 최대 방전인 0%부터 최대 충전인 100%까지 표시된다. 하지만 최대 방전과 최대 충전은 배터리의 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 적정 SOC를 설정하여 운영해야한다. 방전 깊이(DOD; Depth Of Discharge)에 대한 잔존용량 구간(SOC Swing Range)에 따라 배터리의 수명 사이클이 달라진다. DOD를 낮게 잡으면 그에 따른 배터리 수명이 길어지고 수명 사이클이 증가하지만 저장 가능한 에너지양이 적다. 그림 1은 리튬이온 배터리의 방전 실험을 기반으로 배터리의 방전 깊이와 수명 사이클과의 관계를 나타낸다[6].

또한 에너지저장장치의 배터리는 앞서 말한바와 같이 전력변환장치를 통해 충·방전이 이루어진다. 따라서 전력변환장치에 의한 충·방전 효율이 존재하며 이에 따라 배터리 충·방전 에너지가 달라지며 충·방전 가능한 전력량이 결정된다. 식 1-4는 에너지저장장치에 대한 충·방전을 나타내며 최대 충전 및 최소 방전에 대해 나타낸다[6, 7].

$$E_{ESS}(t) = E_{ESS}(t-1) + P_{ESS}(t) \cdot \eta_c \cdot \triangle t \quad (1)$$

$$E_{ESS}(t) = E_{ESS}(t-1) + \frac{P_{ESS}(t)}{\eta_d} \cdot \triangle t \quad (2)$$

$$E_{ESS}^{min} \le E_{ESS}(t) \le E_{ESS}^{max} \quad (3)$$

$$SOC_{ESS}^{min} \le SOC_{ESS}(t) \le SOC_{ESS}^{max} \quad (4)$$

여기서,
E_{ESS} : 에너지저장장치 내 에너지양
P_{ESS} : 에너지저장장치 전력량
η_c : 충전 효율
η_d : 방전 효율
t : 시간
SOC_{ESS} : 에너지저장장치 내 에너지 잔존 용량

2.2 태양광 연계형 에너지저장장치 발전 특성

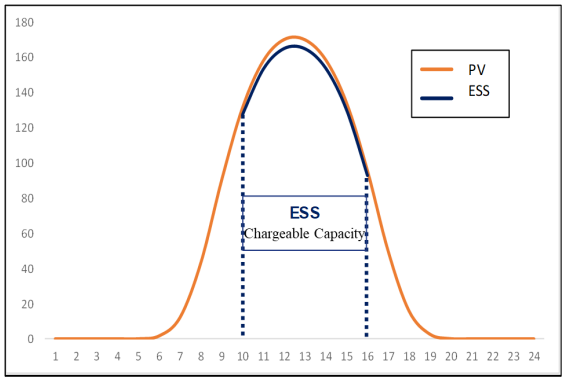

그림 2 태양광 연계형 에너지저장장치 충전시간
Fig. 2 Time of Charge for Energy-Connected Energy Storage Devices

RPS는 신재생에너지 공급 의무화(RPS: Renewable Portfolio Standard)제도로 국내의 태양광 연계형 에너지저장장치는 가중치 5.0를 적용받기 위한 조건이 존재한다. RPS 대상 태양광설비와 연계된 경우여야 하며 태양광설비로부터 10~16시까지 시간대에 배터리를 충전하여, 그 외 시간대에 방전하는 전력량에 한하여 ESS에 대한 REC를 5.0의 가중치를 적용할 수 있다. 만약 해당 시간 내가 아닌 다른 시간대에 배터리를 충전 할 경우 가중치 적용 대상에서 제외 될 수 있다[8].

그림 2은 태양광 연계형 에너지저장장치의 10~16시까지의 태양광발전시스템의 발전량과 에너지저장장치의 충전효율을 고려한 최대 충전가능용량을 나타낸 것이다.

에너지저장장치는 태양광발전설비와 병렬로 연결해야하며 에너지저장장치를 통하지 않고 계통으로 공급된 전력량에 대하여 별도의 가중치를 적용한다. 시간대별 배터리에서 계통으로 방전 또는 송전 되는 전력량과 태양광설비로부터 유입되는 전력량을 측정할 수 있도록 한국전력공사 또는 한국전력거래소의 규정에 따른 전력계량기를 부착 및 봉인하고 모니터링이 가능해야한다. 배터리와 전력변환장치의 설치용량에는 제한이 없다[8].

3. 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템 최적 설계 알고리즘

3.1 최적 설계 알고리즘

그림 3은 본 논문에 적용한 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템 최적 설계 알고리즘이다. 먼저 태양광발전시스템의 설치지역과 설치용량을 설정한다. 그 후, 설치 지역의 최고 기온, 최저 기온, 평균 기온, 일사량 등의 기상 데이터를 수집한다. 이를 기반으로 발전량 월별 발전량을 산출한 후, 월별 구간을 나누어 태양광 패널의 설치 각도를 1, 2, 3의 각도 개수로 구분하여 선정한다. 선정한 설치 각도에 따라 연간 태양광발전량을 분석한 후, 에너지저장장치 용량 증가에 따른 경제성 분석을 진행한다. 에너지저장장치 용량은 최대 설정 가능한 용량을 기준으로 1kWh씩 증가하여 경제성 분석을 진행한다. 여기서, 최대 설정 가능한 용량이란 앞서 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템 발전특성에 따른 태양광발전시스템 발전량을 충전할 수 있는 시간 내 모든 태양광발전시스템 발전량을 충전할 수 있는 용량을 말한다. 경제적 타당성이 입증되면 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템의 최적 용량 선정 및 설계를 진행한다.

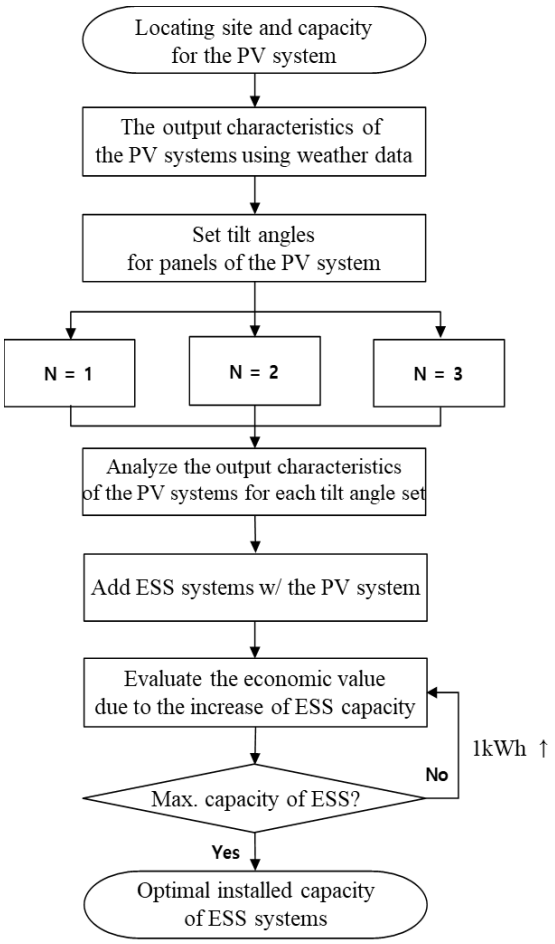

그림 3 ESS 연계형 PV 최적 설계 알고리즘
Fig. 3 ESS Linked PV Optimal Design Algorithm

3.2 경제성평가 기법

앞서 말한바와 같이 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템은 태양광 단일 시스템에 비해 초기비용이 높은 편이다. 따라서 경제성 평가를 통해 최적 설계를 진행해야한다. 신재생에너지의 경제성을 분석하는 방법에는 타에너지 설비에 투입되는 총 비용과 비교하는 것과 신재생에너지 설비에서 에너지의 생산원가와 타에너지설비에서 에너지의 생산원가를 상호 비교하는 방법 등이 있다[9].

$$NPV = (B_0 - C_0) + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)} + \frac{B_1 - C_2}{(1+r)^2} \cdots\cdots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (5)$$
$$= NB + \frac{NB_1}{(1+r)} + \frac{NB_2}{(1+r)^2} \cdots\cdots + \frac{NB}{(1+r)^n}$$
$$= \sum_{n=1}^{N} \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} + (B_o - C_o)$$

여기서,
B : 편익
C : 비용
NB : 순편익
r : 할인율
n : 해당기간
N : 사업기간

본 논문은 타에너지와의 비교를 하지 않고 발전사업자가 해당시스템을 시설하기 위한 투자비와 이로 인해 발생하는 수입을 비교하여 시설한 연도에서 몇 년 후 해당 투자비를 모두 회수 할 수 있는가를 NPV 기법을 통해 분석하였다. NPV기법은 일정기간의 수입 또는 수입과 지출 또는 비용의 차이를 할인율을 적용하여 현재 시점으로 할인한 금액의 총합으로 투자의 경제성이 존재하기 위해서는 그 값이 0보다 커야한다[9].

그림 4는 태양광 발전 사업자의 수입구조이며 계통한계가격(SMP; System Marginal Price)에 따른 발전전력판매와 신재생에너지 공급인증서인 REC 발급을 통한 매매거래로 수익을 창출가능하다. 시스템의 초기비용은 금융지원제도를

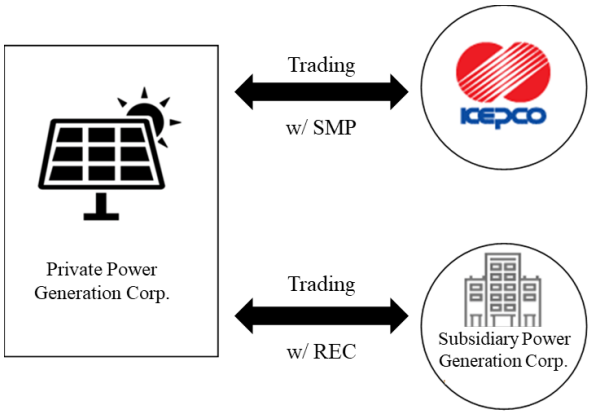

그림 4 태양광발전사업자의 사업구조
Fig. 4 The Business Structure of Photovoltaic Power Transmission Providers

통해 대출가능하다. 태양광발전사업의 금융지원제도는 다양하게 존재하나 대출 금리는 연 1.7~4.0%정도이며 에너지저장장치에 대한 금융지원제도 또한 다양하게 존재한다. 태양광설비의 경우, 정부보조금인 금융지원사업 자금지원 세부내역은 발전 및 송전을 위한 설비 또는 동일 설비를 생산하기 위한 시설, 주택에 설치한 태양광설비의 경우에 해당하는 금융지원을 받을 수 있다. 해당 금융지원은 기업에 해당하는 것이며 개인발전사업자는 대출기관을 통해 금융지원제도 혜택을 받을 수 있다[10-12].

SMP에 의한 수익의 경우, 한국전력공사 또는 전력거래소와 계약하여 전력판매를 통해 수익을 창출한다. 한국전력공사의 경우 월평균 SMP를 기반으로 하며 전력거래소의 경우 시간별 SMP를 기반으로 전력량에 대한 가격을 책정한다. 1000kW이상의 태양광발전사업자는 한국전력공사와 전력수급계약(PPA; Power Purchase Agreement)을 맺어 전력거래소를 거치지 않고 바로 판매가 가능하다. REC는 설비별 전력공급량(MWh)에 설비별 가중치를 곱하여 발급량를 산출하며 REC 발급을 통한 수익 창출은 거래시장을 통해 이루어진다. 2016년 3월 이전에는 태양광과 비태양광의 REC 거래가 구분되었지만 현재는 통합시장으로 운영되고 있다. REC 거래 시장은 현물시장, 계약시장이 있으며 계약시장에는 자체계약과 선정계약이 존재하며 선정계약은 태양광만 해당된다. 현물시장은 전력거래소에서 운영되며 공급인증서의 수요와 공급에 의해서 매매가 체결되는 시장이다. 계약시장은 공급인증서 매매계약을 체결한 후 계약당사자가 계약사실을 신고하고 그 내용에 따라 매매가 이루어지는 시장이다. 현물시장 거래는 경매방식으로 진행된다. 현재 양방향 거래시장이 운영되고 있으며 매도, 매수자가 수량과 가격에 대해 자율적으로 주문 및 정정이 가능한 시장이다. 계약시장 거래는 계약 내용에 따른 거래대금을 정산, 결제 후 전력거래소의 확인절차를 거쳐 REC의 소유권이 이전됨으로써 거래가 완료된다. 2017년 새롭게 도입된 고정가격계약시장은 SMP 변동에 따라 동일발전량 대비 월 수익이 변경되는 'SMP+1REC'또는 SMP 변동에 상관없이 동일발전량대비 월 수익이 일정한 'SMP+1REC×가중치'계약 중 한 가지 계약방식을 선택할 수 있다. 이는 발전량에 따라 태양광발전사업자의 수익에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 적절한 계약방식을 선택하여 경제성을 확보해야한다[10-12].

4. 사례연구

최적 설계 알고리즘을 적용한 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템을 구성하기 위해 모듈의 효율과 연 시스템 효율 저감율에 따라 적정 태양광 모듈을 선정하고 태양광발전시스템 규모에 적절한 인버터 선정, 에너지저장장치의 기초 사양을 설정한다. 본 논문에서 선정한 태양광 모듈과 인버터의 사양은 다음과 같다. 태양광 모듈의 연 시스템 효율 저감율은 2년차부터 연 0.55%씩 저감된다. 또한 독일의 인버터회사인 SMA사의 인버터 사양을 기준으로 적절한 용량의 인버터를 선정하였다[13, 14].

태양광발전시스템 설치 지역은 대구로 설정하였으며 설치각도는 고정된 한 개의 각도로 설치한다. 이는 경제적 이윤을 더 창출하기 위함이다. 최대 발전 가능한 최적 각도는 대구지역의 경우 33도이다. 따라서 설치각도를 33도로 고정하여 최적 설계 알고리즘을 진행한다. 현재 태양광발전시스템의 1kW당 설치비용은 150~200만원이며 운영 유지비용의 경우, 연간 설비비용의 1%로 설정한다. 해당 초기 설치비용의 70~80%는 금융지원제도를 통해 연 1.7~3.7%의 금리로 대출할 수 있다고 가정하였으며 원금균등상환을 통해 대출금을 상환한다.

또한 REC 거래의 경우 2016.07~2017.07기간에 대해 가장 높은 가격에 거래된 현물시장에 대해 분석하였으며 태양광의 경우 REC 가중치를 높게 받을 수 있는 건축물 위 설계를 가정하였다. 모듈은 총 2,500개를 설치하였으며 인버터 및 모니터링시스템, 기타 구조적 자재, 전기적 설비 등을 모두 포함한 비용이다. 태양광발전시스템 설치비용은 1kW기준 총 175만원의 예산이 소요된다. ESS의 경우 동일한 대출은 진행하며 kWh당 118만원의 초기비용을 설정하였으며 충·방전 효율의 경우, 각각 97%, 98%로 설정하였으며 SOC는 10~90%로 DOD를 80%로 설정하여 진행하였다. 이는 배터리의 수명을 기반으로 선정하였다[7].

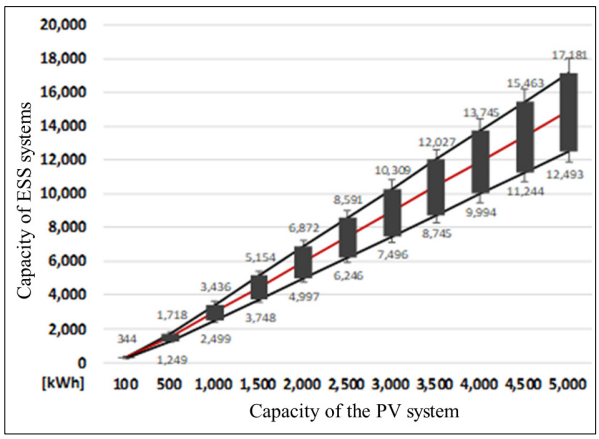

그림 5 PV 용량 대비 ESS 용량 선정
Fig. 5 Select the ESS Capacity Against PV Capacity

먼저 에너지저장장치 연계형 태양광발전시스템의 발전특성을 고려한 에너지저장장치의 최대 설정 가능한 용량을 태양광발전시스템 용량별 설정한다. 그림 5는 이에 대한 그래프이며 태양광발전시스템의 용량에 대해 최대 3.34배, 평균

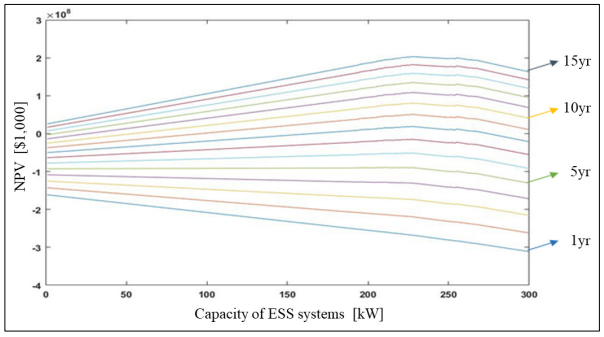

그림 6 PV용량 100kW, ESS 용량변화에 따른 경제성평가
Fig. 6 Economic Efficiency Assessment of PV Capacity 100kW, ESS Capacity Change

2.88배, 최소 2.49배로 나타난다. 따라서 경제성평가를 통해 선정한 최적용량이 최소 용량과 최대용량 구간 내에 존재해야한다.

현재 가격에 대한 태양광발전시스템 용량을 100kW로 선정하여 NPV분석 결과 그림 6과 같이 나타나며 가로 축은 에너지저장장치의 용량이다. 최적 태양광발전시스템 용량 대비 에너지저장장치 용량 변화는 15년에 대해 경제성평가를 진행하였다. 그 결과 시스템 최적의 용량 비는 2.28배로 나타나며 9년의 기간이 걸리며 경제성 또한 높게 나타난다. 해당 연도는 태양광 단일 시스템에 비해 이윤 창출 기간이 3년이 더 오래 걸리는 것으로 나타난다.

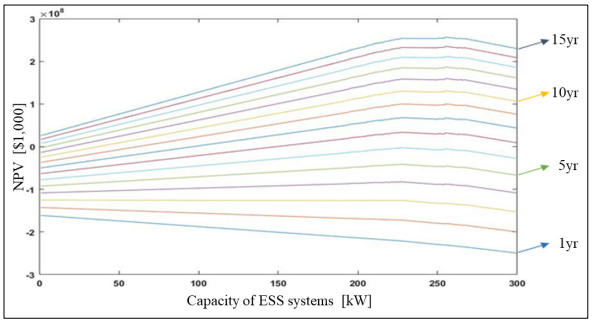

그림 7 PV용량 100kW, ESS 가격하락에 따른 경제성평가
Fig. 7 Economic Efficiency Assessment of PV Capacity 100kW, ESS Price Declination

그림 7은 현재 가격에서 임의로 33%의 배터리 가격하락을 모의한 것이다. 배터리의 경우 신재생에너지에 대한 활용도가 높아짐에 따라 수요가 증가하여 가격하락이 나타날 것으로 전망되므로 이와 같은 사례연구를 진행하였다. 앞서 진행한 것과 동일하게 태양광발전시스템 용량을 100kW로 선정하였으며 NPV분석 결과는 그림 7과 같이 나타난다. 최적 태양광발전시스템 용량 대비 에너지저장장치 용량 변화는 15년에 대해 경제성평가를 진행하였다. 그 결과 시스템 최적의 용량 비는 2.55배로 나타나며 6~7년의 기간이 걸리며 경제성 또한 높게 나타난다. 해당 연도는 태양광 단일 시스템과 유사한 이윤 창출 기간이 나타난다. 이때의 가격은 현재 가격의 33% 하락한 결과이며 에너지저장장치가 kWh당 78만원일 경우이다. 이는 앞서 산출한 최적 용량 구간의 평균값에 근접하며 적정 에너지저장장치 용량이라 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 경제성을 고려한 태양광발전시스템 연계형 에너지저장장치의 최적 설계 알고리즘을 제안한다. 현재 에너지저장장치 가격을 통해 태양광 단일 시스템에 상대적으로 경제적 이윤을 얻기에 가중치 5.0을 적용받아도 기간이 3~4년 더 걸리나 향후 에너지저장장치 가격의 하락을 고려해 분석한 결과, kWh당 78만원 이하로 하락하면 태양광발전시스템을 효율적으로 충전하는 용량 내에 경제적 이익 창출이 가능하다. 그러나 가중치 5.0은 현재 2017년까지 적용된다. 그러므로 산업통산부에서 2018년의 태양광발전시스템 연계형 에너지저장장치의 가중치를 고시한다면 해당 이윤 기간이 달라질 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1C1A1A02037544).

References

[1] ETP2017, IEA, 2017.
[2] K. Y. Jang, “Forecast of Domestic and Foreign Energy Market in 2017,” POSCO Management Institute, 2017.
[3] New and Renewable Energy Center, Korea Energy Management Corporation.
[4] Y. J. Song, “A Case Study on the Use of Energy Storage Devices and the Need for System Improvement in Energy Prosumer Market,” Korea Economic Research Institute, 2017.
[5] KEMRI Journal of Economic Policy REVIEW, Korea Electric Power Corporation, No. 17, 2016.
[6] Garam Yu, Do Hwan Rho, Byung Hoon Chang, Jun Yeong Yun, Kyung Soo Kook, “SOC-based Control Strategy of Battery Energy Storage System for Power System Frequency Regulation,” *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63, no. 5, pp. 622-628, May 2014.
[7] Yeon-Ju Choi, Sung-Yul Kim, “Calculation of Appropriate Subsidies for Energy Storage System to Improve Power Self-sufficiency Consider Microgrid Operation,” *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 66, no. 3, pp. 486-492, March 2017.
[8] Guidelines on the Support and Support of New Renewable Energy Facilities, Korea Energy Management Corporation, 2017.
[9] Economic Analysis of Photovoltaic System, Korea Energy Management Corporation, 2007.
[10] Power and REC trading guide for new renewable power generation, Electric power exchange.
[11] Two-way and REC trading market information, Electric power exchange.
[12] Renewable Energy Center Announcement, November 2017.
[13] LG Electronics Co., Ltd.
[14] SMA.

저 자 소 개

이 여 진 (Yeo-Jin Lee)

2016년 계명대학교 전기에너지공학과 졸업, 2018년 동 대학원 전기전자융합시스템공학과 졸업(석사).
E-mail : tyjkl06@gmail.com

김 성 열 (Sung-Yul Kim)

2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업, 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2012년~2013년 미국 Georgia Institute of Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학교 전기에너지공학과 조교수.
E-mail : energy@kmu.ac.kr

한 세 경 (Se-Kyung Han)

2002년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2007년 서울대학교 전기공학과 졸업, 2012년 일본 도쿄대학교 정보이공학과 졸업(공학박사), 2007년~2009년 SK에너지 근무, 2012년~2013년 일본산업기술종합연구소 근무, 현재 경북대학교 전기공학과 조교수
E-mail : sekyung.han@gmail.com

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.