

PV연계형 ESS의 설치 규모에 따른 수익영향

김창수* · 최상봉

전력망연구본부, 한국전기연구원, 경기, 16029

Profitability Analysis of ESS with PV Generation

Chang Soo Kim* · Sang Bong Choi

Power Grid Division, Korea Electrotechnology Research Institute, Gyeonggi 16029, Korea

Received September 7, 2020; Revised September 14, 2020; Accepted September 15, 2020

ABSTRACT: The investment in solar and wind generation is rapidly increasing with government's renewable expansion policy and Renewable Portfolio Standard (RPS). Since the large penetration of solar and wind generation increases the variability and uncertainty of supply and demand balance in power system, the government is pursuing the policy of supplying energy storage system (ESS) linked to renewable energy. ESS contributes to the ease of transmission and distribution grid by shifting PV generation from daytime to evening hours. Recently, the declining market price of REC as ESS incentive, policies to cut down incentives and limited ESS storage due to fire events lead to the aggravation of long-term profitability, thus working as a barrier of ESS spreading. In this study, the factors affecting the profit of ESS are analyzed and brief indicators are derived. Based on the indicators, the profit changes are analyzed considering the variation of REC market price and REC incentive weights. Based on the profit change with respect to the increase of ESS capacity, economical ESS installation capacity is suggested.

Key words: Energy Storage System (ESS), REC, Renewable energy, Incentive, Peak reduction

Nomenclature

S_{ESS} : installed capacity of ESS, kWh
 OS_{ESS} : operating capacity of ESS, kWh
 CR_{max} : ratio of max charging to installed capacity
 CR_{min} : ratio of min charging to installed capacity
 PV_{ESS} : chargeable capacity in a day, kWh
 PV_t, PV_d : hourly, daily generation of PV, kWh
 E_{chr} : power charged to the ESS in a day, kWh
 Eff_{cha} : Efficiency of charging from PV to ESS
 E_{dischr} : power supplied by the ESS to the network, kWh
 Eff_{discha} : Efficiency of discharging from ESS to network
 B_{SMP} : Changes in SMP revenue for PV-ESS operations compared to PV alone, Won
 B_{REC} : Changes in REC revenue for PV-ESS operations compared to PV alone, Won
 SMP_{T1} : Average SMP of ESS charging time (11-16 hours),

Won/kWh
 SMP_{T2} : Average SMP of ESS discharging time (19-22 hours),
Won/kWh
 REC : REC Price, won/REC
 $\omega_{ESS}, \omega_{PV}$: REC weights for PV, ESS supply
 α_{ESS} : annual utilization rate of ESS
 $E_{chr,d}$: power charged to the ESS in d days, kWh
 OI_{ESS} : Total cost or total unit price based on available capacity of ESS, won/kWh
 I_{ESS} : ESS installation cost or installation unit price, won/kWh
 OM_{ESS} : Annual Operating Maintenance Cost of ESS, 1.5% Applied as a Ratio of Installation Costs

Subscript

ESS : energy storage system
PV : Photovoltaic
RE3020 : renewable energy 20% in 2030
RE100 : renewable energy 100% in user

*Corresponding author: cskim@keri.re.kr

REC : renewable energy certificate
 RPS : renewable portfolio standard
 SMP : system marginal price
 PCS : power conditioning system

1. 서론

'90년대부터 기후변화에 대응하기 위한 노력으로, 전 세계 전력산업은 화석연료에 기반한 발전의 형태에서 탄소배출 저감을 위한 저탄소 전원의 확대 방안을 모색하기 시작하였으며, 이에 따라 PV, 풍력 등과 같은 설비기반 재생에너지원이 주목을 받고 있다. 우리나라는 에너지기본계획과 전력수급기본계획에서 2030년에 재생에너지 공급비율을 20%까지 증가하는 RE3020 계획을 수립하여 추진하고 있다. 최근에 수립한 에너지기본계획에서는 2040년까지 재생에너지 목표를 35~40%까지 확대를 계획하였다. 재생에너지 발전용량을 '19년 12.7GW에서 '25년까지 42.7GW로 대폭 확대하며, 기업은 필요한 전력의 100%를 재생에너지로 이용하는 글로벌 캠페인(RE100)에 국내기업과 공공기관의 참여를 유도하는 정책을 수립하고 있다¹⁾.

우리나라에서 재생에너지 공급의 핵심 전원은 PV와 풍력이다. 풍력발전 보급은 입지확보, 인허가, 민원 등 어려움으로 지연되고 있으나, PV는 다양한 발전소 입지개발과 소규모에서 대규모까지 다양한 규모로 설치되어 빠른 속도로 보급이 증가하고 있다. 재생에너지 전원은 자연 요소에 근간하여 발전하기 때문에 출력감발은 가능하나 출력증발은 제어 불가능한 측면이 있다. 특히 태양광발전은 일사량이 없는 시간대에 발전을 보완할 수 있는 수단이 필요하다. PV에 연계하는 ESS는 주간에 생산되는 태양광발전을 저장하여 일몰 후 저녁 시간에 발전함으로써 주간 시간에 태양광발전으로 인한 배전계통 운영 부담을 경감하고, 저녁 시간에 공급함으로써 PV설비 확대에 따른 배전계통과 송변전계통의 안정적인 운영을 유도하고 있다⁴⁾.

이에 따라 정부는 태양광발전 확대에 따른 변동성의 완화와 주간시간 집중발전을 분산하기 위한 PV연계 ESS 보급정책을 추진하고 있으며, ESS에서 공급하는 전력에 대한 인센티브 도입으로 2018년부터 보급이 급격하게 증가하였다. 국내 ESS 보급정책은 수용가 중심형 보급정책, 주파수조정용 보급정책, 신재생 연계형 보급정책, 에너지자립섬형 보급정책이 있으며, 정부가 주도하여 견인하고 있다. 이 중에서 신재생 연계형 보급정책은 기존의 설비기반 신재생에너지 전원에 대한 적용을 위해 한시적으로 높은 수준의 신재생에너지 공급인증서 가중치를 제공하여 설치를 유도하고 있다. '공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙'에 따르면, 10~16시까지의 태양광 충전을 바탕으로 이외 시간에 ESS에서 방전하는 전력량에 대하여 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치 5.0을 제공하고 있다¹⁾. 그러나, 최근 ESS의 화재 등으로 ESS에 충전되는 최대에너지에 대한 규

제방안을 도입하고 있으며, ESS 발전에 제공하는 REC 현물가격의 지속적인 하락은 ESS를 설치한 사업자의 운영을 어렵게 하고 있다. 또한, PV설치 확대는 발전량이 많은 맑은 날 정오에 전국에 설치된 PV 출력이 동시에 증가하여 계통망 운영을 어렵게 할 수 있으므로, 이를 보완하는 ESS 연계는 필수적이다.

본 논문은 수년간의 태양광 발전패턴의 실적을 바탕으로 PV연계 ESS의 운영 현황 및 정부 지원제도를 기준으로 경제적인 투자 및 운영방안에 대하여 제시한다. ESS 수익성에 영향을 주는 소요의 분석을 통하여 PV발전 용량에 대비한 ESS 설치용량의 수준을 산정한다. 여기에는 REC 가격의 불확실성과 PV발전 불확실성에 대한 영향, ESS 설치비용 수준 등을 기준으로 수익성 확보방안을 제시한다. 특히, 충전시간대 제약, ESS 화재사고 후속 조치로 정부의 ESS충전량 제한정책이 ESS 사업자에 미치는 영향에 대하여 분석한다. 또한, PV보급량에 연계한 ESS보급에 의한 PV피크출력 절감을 산정하여 효율적인 운영방안을 제시한다.

태양광과 ESS의 보급, 전기자동차의 충전시스템 등 직류(DC)전력을 중심으로 구성되고 있으므로, 향후 전력시스템은 교류(AC) 배전망에서 DC 배전망으로 변화가 예상된다. 개인간 전력거래(P2P 거래) 도입과 마이크로그리드, DC그리드 등과 접목하여 자유롭게 거래를 할 수 있는 플랫폼을 개발하고 있으며, 여기에 핵심 전원으로 태양광, ESS, 전기차의 V2G 운용 등이 있다. 여기에서 태양광 연계 ESS의 활용전략과 정책 방안에 대해서도 분석한다.

2. PV연계 ESS의 운영

2.1 ESS 활용

기존 전력계통에서 ESS는 원자력과 연계하여 부하가 낮은 심야시간에 원자력의 잉여 발전출력을 이용하기 위하여 도입하였다. 심야시간의 낮은 전력수요에서 발생하는 발전기의 잉여 전력을 저장하여 전력수요가 높은 주간 시간에 발전하기 위하여 저장에너지당 투자비용이 낮은 대규모 양수발전을 ESS로 활용하기 위하여 건설하였다. 최근에는 재생에너지인 풍력발전과 태양광발전으로 공급되는 변동성 전원의 특성에 의한 계통운영 제약을 완화하기 위하여 ESS를 도입하고 있으며, 입지제약이 있는 양수발전과 대비하여 입지제약에서 자유롭고 소규모로 설치가 가능한 고성능 저장배터리를 활용하여 소규모로 분산하여 수요지에 ESS를 설치하고 있다.

계통에서 ESS설치 목적은 ① 발전기가 담당하고 있는 주파수조정 기능을 대신하여 주파수조정을 위한 계통운영보조서비스 공급, ② 재생에너지의 변동성을 완화하기 위하여 재생에너지와 연계하여 설치 운영, ③ 전력소비자의 부하이전, 최대부하 감축 등 수요관리 수단으로 전기요금 절감을 위한 운영 등으로 나눌 수 있다²⁾. 이 외에도 정전 등의 비상시에 전기를 공급하는

UPS, 발전소의 기동전력을 공급하기 위한 용도로 활용되고 있다. ESS는 활용하는 목적에 따른 서비스 제공을 위하여 설치규모, 위치, 운영 방법 등을 목적에 맞추어 설치하고 있으며, ESS의 편익 산정 및 요소도 운영에 따라 달라진다.

본 연구에서는 PV와 연계하여 운영하는 ESS를 대상으로 수익을 유지할 수 있는 적정 규모를 제시하고, 규모에 따른 수익영향 분석을 통하여 개선방안을 제시한다.

2.2 전력시장 환경

PV와 ESS 설비는 설비투자 후에는 전력생산 및 공급에 연동하는 변동비용은 발생하지 않으므로 PV와 ESS의 공급 원가는 고정비용(설비비용, 운전유지비용)과 이용률을 반영한 발전량을 기준으로 산정된다. 그러나, PV와 ESS에서 생산된 전력의 판매로 얻는 수입은 SMP로 정산한 판매 수입과 전력생산으로 발급된 REC를 시장에 판매한 수입으로 경제성을 확보하게 되므로 SMP와 REC 가격이 매우 중요하다.

Fig. 1은 SMP와 REC의 월별 가격변화를 보여준다. SMP는 유가 변동과 발전소 수급에 영향을 받으며, 최근 유가 하락으로 SMP는 70원/kWh까지 하락하였다. 향후 유가가 상승하면 SMP가 높아질 수 있으나, PV설비 증가는 SMP를 하락시키는 요인으로 작용할 수 있다. REC 가격은 시장에서 결정되며, 2016년 말 160천원/REC에서 2020년에는 44천원/REC에 거래되어 2016년 대비 27% 수준으로 가격이 하락하였다.

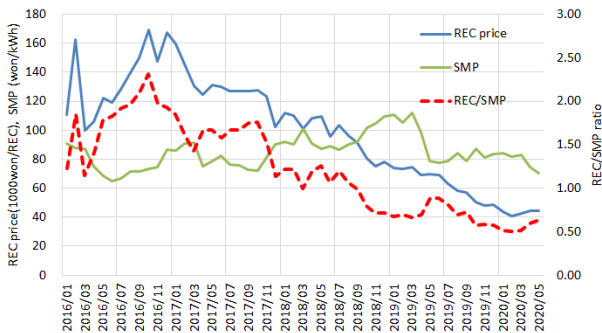


Fig. 1. Price change trend of SMP, REC

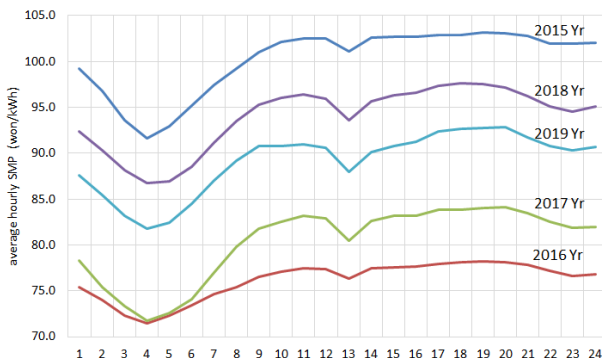


Fig. 2. The change of average SMP by year

SMP와 REC가격이 하락하면 PV사업자와 PV+ ESS 사업자의 전력판매 수입이 감소하므로 투자비 회수가 어렵게 된다. ESS운영은 주간 PV전력을 저장하여 일몰 후 판매하므로 주간과 일몰 후의 SMP 차이에 대한 수익변동을 고려하여야 한다. Fig. 2의 시간대별 평균으로 산정한 연평균 SMP에서 PV에서 ESS로 충전하는 주간시간(10:00~12:00) SMP와 비교한 저녁시간(18:00~20:00)의 SMP가 0.6~2.2% 높은 수준이다. 12:00~13:00의 SMP를 포함하면 차이는 1.1~3.3%까지 증가한다.

2.3 PV연계 ESS의 보급과 운영

Table 1에서 국내 ESS 보급은 2013년 30 MWh (30개소)에서 2018년 4,773 MWh (1,490개소)로 증가하였으며, 이 중에서 PV연계 ESS는 1,587 MWh (754개소)가 보급되어 있다²⁾. 특히, 전체 보급량의 76%가 2018년에 집중하여 보급되었다. 이는 PV 및 풍력 연계 ESS에 대한 지원정책으로 ESS로부터 공급하는 전력에 대하여 REC 발급에 가중치를 제공함으로써 수익성이 향상되어 보급이 급증하였다.

PV연계 ESS의 보급으로 전력거래소를 통하여 판매하고 있는 PV사업자와 PV-ESS 사업자의 발전출력 패턴에도 큰 변화가 있다. 2014에서 2017년까지는 PV단독 공급이 대부분을 차지하였으며, 2018년 PV-ESS의 급격한 증가로 충전 시간대인 10:00에 태양광 충전에 따른 계통공급 감소 및 저녁시간에 ESS를 통한 전력공급이 이루어지고 있다. 이에 따라 Fig. 3과 같이 PV용량 대비 70% 출력에서 57% 출력으로 최대출력 기준으로 20% 감소하여 배전망 및 송전망 부담을 경감 하였다.

PV연계 ESS는 태양광발전 출력이 가장 높은 10:00~16:00

Table 1. ESS Distribution by Use (2018 Yr)

	Linked to renewable energy			Demand side management			Total
	PV	Wind	Sub Total	Peak reduct.	Emergency	Sub Total	
Plants (ea)	754	24	778	657	55	712	1,490
Capacity (MWh)	1,587	272	1,859	2,757	157	2,914	4,773

Sources : Korea Electrical Safety Corp., MOTIE

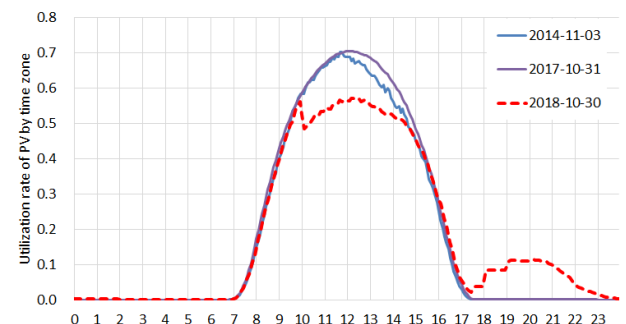


Fig. 3. Specific date PV output curve by year

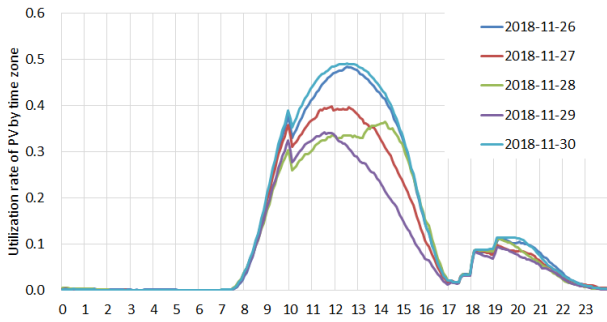


Fig. 4. Daily utilization curve variation (2018 year)

(11시~16시)에 생산되는 전력을 저장하여 태양광발전이 생산되지 않는 저녁 시간에 발전하는 방식이다. 2014~2017년 자료(2018년은 ESS에 의한 왜곡으로 제외)를 바탕으로 산정하면 6시간 PV발전량은 일일 발전량의 약 75%이다. 따라서 논문에서는 ESS에 저장할 수 있는 전력량으로 일일 발전량의 75%를 최대 충전가능 전력량으로 산정한다.

현재 태양광 충전방식은 Fig. 4와 같이 10:00에 시작하므로 ESS가 설치된 태양광은 같은 시간에 충전함에 따라 급격한 출력변동이 발생하고 있다. 따라서, 이를 개선하는 충전제어방식이 필요하며, 이를 적용하는 PV연계 ESS에는 충전시간 제약을 적용하지 않는 제도 도입이 필요하다.

3. PV연계 ESS의 경제성

3.1 산정방법

PV연계 ESS의 활용은 PV발전이 가장 높은 시간에 ESS로 충전하고, 일몰 후 저녁 시간에 충전전력으로 발전하는 조건으로 ESS에서 공급하는 전력에 REC 5.0 (향후 4.0으로 축소)을 발급하는 인센티브를 시행하고 있다⁴⁾. PV연계 ESS 운영조건은 10:00~16:00에 충전하고, 충전된 전력은 일몰 후에 계통으로 공급하는 방식으로 운영하고 있다. ESS 충전시간 제약으로 충전 전력은 일일 PV가 생산하는 전력의 약 75%를 충전할 수 있다.

ESS 운영에서 배터리의 충·방전 제약은 완전 방전을 수행하면 배터리 수명이 단축되므로 안정적인 운전을 위하여 방전에는 배터리 용량의 5%를 최소방전으로 남겨두고 운전하며, 충전의 경우에도 배터리 용량의 최대 95%까지 충전한다. 이를 기준으로 산정하면 ESS의 가용용량은 설치용량의 90% 수준이다.

최근 ESS화재 발생으로 인하여 화재 안전성 확보를 위하여 정부규제로 완전충전을 옥내 80%, 옥외 90%로 충전을 제한을 시행하고, 이를 초과한 운영에 대해서는 가중치를 0으로 조정하는 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 관리운영 지침을 개정하여 시행한다. 이를 적용하면 ESS의 가용용량은 옥내설치는 90%에서 75%로 감소하며, 옥외설치는 90%에서 85%로 감소한다. ESS가 용은 최소충전량과 최대충전량 사이에서 운전하게 되므로 ESS 가용용량은 다음과 같다.

$$OS_{ESS} = S_{ESS} \cdot (CR_{max} - CR_{min}) \quad (1)$$

ESS 투자비용은 일반적으로 설치용량 기준으로 kWh 용량당 설치비용을 산정한다. 실제 운영에서는 가용용량을 기준으로 산정하며, kWh당 설치비용 대비하여 18~33% 투자비용 증가의 효과가 있다. 본 논문은 가용용량 기준으로 용량과 비용을 산정하며, 이를 바탕으로 설치용량과 설치비용 변환은 ESS 용량의 가용률을 적용하여 보완한다.

ESS는 PV에서 발전한 전력으로 충전하며, 주간에 충전한 전기는 일몰 후 모두 방전하여 계통 전력공급에 활용하는 하루 주기의 충·방전을 반복한다. 따라서, 하루를 기준으로 ESS에 충전하는 전력량은 다음과 같다.

$$PV_{ESS} = \sum_{t=11}^{16} PV_t \simeq PV_d \cdot 75\% \quad (2)$$

$$E_{chr} = \min(OS_{ESS}, PV_{ESS} \cdot Eff_{chr}) \quad (3)$$

ESS에 충전한 전력을 일몰 후 계통에 공급하는 전력량은 다음과 같다.

$$E_{dischr} = E_{chr} \cdot Eff_{dischr} \quad (4)$$

PV 전력을 계통에 공급하기 위해서는 전력변환장치(PCS)를 통하여 AC로 변환한 후에 공급되나, ESS에 충전은 PV전력을 변환 없이 충전하게 된다. 이에 따라 계통에 공급되는 전력량 기준으로 산정하고, 배터리 충전효율과 PV전력의 PCS 변환효율을 반영하면 PV에서 계통공급과 PV에서 ESS 공급에 대한 효율 차이를 무시하여 Eff_{chr} 는 1.0으로 설정하여 분석한다. ESS 전력을 방전하여 계통에 공급하는 경우 배터리 방전손실, PCS 변환손실 등으로 종합적인 손실계수로 Eff_{dischr} 는 본 논문에서는 98%를 적용하였다.

위의 설정을 바탕으로 ESS 투입에 따른 SMP 수입과 REC 수입을 산정한다. 산정은 ESS공급에 의한 수입에서 PV에서 계통으로 직접공급 감소에 따른 수입감소를 고려한다. Eff_{dischr} 를 98% 적용시 SMP수입 변화는 SMP_{T1} 과 SMP_{T2} 의 차이에 따라 달라지며, SMP_{T2} 를 2% 높은 것으로 적용하면 전체적으로 PV에서 직접 계통공급에 따른 SMP수입과 ESS를 통하여 공급하는 경우에 손실반영, SMP차이 반영을 고려하면 SMP에 의한 편익은 상쇄되고 없는 것으로 가정하였다.

$$B_{SMP} = E_{dischr} \cdot SMP_{T2} - E_{chr} \cdot SMP_{T1} \simeq 0.0 \quad (5)$$

REC가 중치와 시장가격에 따른 REC 수입의 변화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 B_{ESS} &= E_{cha} \cdot Eff_{dischr} \cdot (\omega_{ESS} - \omega_{PV}) \cdot REC \\
 &= E_{cha} \cdot 0.98 \cdot (\omega_{ESS} - \omega_{PV}) \cdot REC \quad (6)
 \end{aligned}$$

위의 식에서 ESS 투자 및 운영에 따른 수입 변화는 REC 수입의 변화이므로 REC 가치 정책과 REC의 시장가격 수준, 그리고 ESS를 통하여 공급하는 전력량에 직접적으로 영향을 받는 것으로 산정된다.

3.2 시산분석

ESS 운영에 따른 수입은 ESS를 통하여 계통에 공급하는 전력량과 REC가 격에 따라 달라진다. ESS가 PV에서 충전하여 계통에 공급하는 전력량 E_{chr} 은 설치된 PV의 발전량과 ESS 설치 용량 및 가용용량에 따라 달라지며, ESS 용량과 PV 용량의 상관관계가 높다. 같은 PV 용량에 대해서도 설치 위치에 따라 PV 이용률이 달라지므로 ESS의 경제적인 설치용량도 달라진다.

Fig. 5는 우리나라 전체 PV 발전기의 일평균 이용률의 지속 곡선을 그래프로 나타낸 것이다.

일일 PV 이용률 최대는 27.7% (용량기준 6.64시간 발전)이며, 최소는 1.05% (용량기준 0.25시간 발전)로 차이가 매우 크다.

Fig. 6은 이용률 곡선을 기준으로 100 kW 태양광 설치시 일일 발전량 지속곡선과 ESS에 충전하는 시간대의 발전량 비율 75%를 적용한 충전가능 전력량 곡선을 나타낸 것이다.

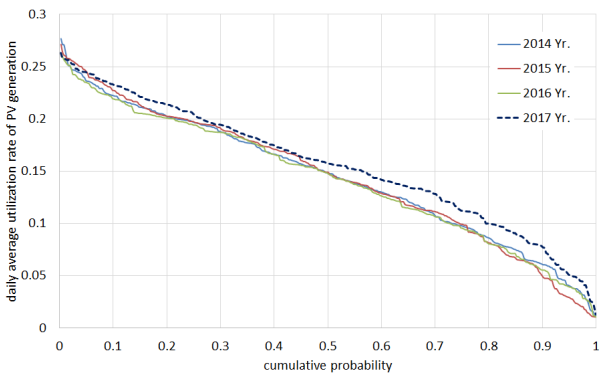


Fig. 5. Duration Curve of Daily Utilization

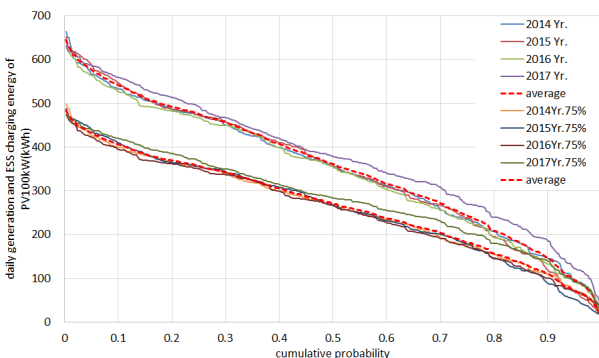


Fig. 6. Daily generation duration curve (based on PV/100 kW)

ESS 충전은 PV 발전량 중에서 주간 6시간(11시~16시)의 전력을 충전한다. ESS 용량이 작으면주간 발전량으로 완전히 충전하는 일수가 많아져(100% 이용률로 활용) 설치된 ESS의 연간 이용률이 높다. ESS 용량이 증가하면 일조량이 낮은 날에는 PV발전으로 ESS 가용용량을 모두 충전할 수 없으므로 이용률이 낮아진다. PV 100 kW 설비를 기준으로 주간시간 75%충전시 최대 충전전력량은 500 kWh이며, 이를 초과하는 ESS 용량은 사용하지 않게 되므로 최대 설치하는 가용용량은 500 kWh이다.

ESS 설치용량에 따른 연평균 이용률 산정은 ESS 경제성 분석에 매우 중요하다. 여기에서 이용률은 일반적인 발전기의 이용률과는 다르게 충·방전 사이클의 이용률을 적용한다. PV연계 ESS는 하루에 한 차례의 충·방전을 수행하는 것으로 산정하며, 주간에 ESS 가용용량 전체를 충전하여 일몰 후 전체를 방전하는 것을 100% 이용률로 정의한다.

$$\alpha_{ESS} = \sum_{d=1}^{365} E_{chr,d} / (365 \cdot OS_{ESS}) \quad (7)$$

적정 ESS의 설치용량은 PV 설치용량에 비례하여 증가하므로 PV 설비용량(kW)에 대비한 ESS 설치용량(kWh)의 비율로 표현한다. 즉, PV 용량 100 kW에 ESS 100 kWh 설치하는 ESS 용량 비율을 1.0으로 표기한다.

Fig. 7은 ESS 설치용량 비율에 따른 ESS의 평균 이용률을 나타낸 것이다. 그림에서 PV용량 대비 0.5의 비율로 ESS 설치하는 거의 100% 수준으로 이용이 기대되며, 5.0의 비율로 ESS 설치하면 이용률은 53% 수준으로 낮아진다.

ESS 설치에 따른 연간 수입(YB_{ESS})은 PV의 고장정지율은 고려하지 않고 365일 가동으로 수입으로 산정하며, 앞에서 설명한 바와 같이 연간 수입 중에서 SMP 수입 차이는 없는 것으로 제외하고 REC에 의한 수입으로 산정한다.

$$\begin{aligned}
 YB_{ESS} &= 365 \cdot OS_{ESS} \cdot \alpha_{ESS} \cdot 0.98 \\
 &\quad \cdot (\omega_{ESS} - \omega_{PV}) \cdot REC \quad (8)
 \end{aligned}$$

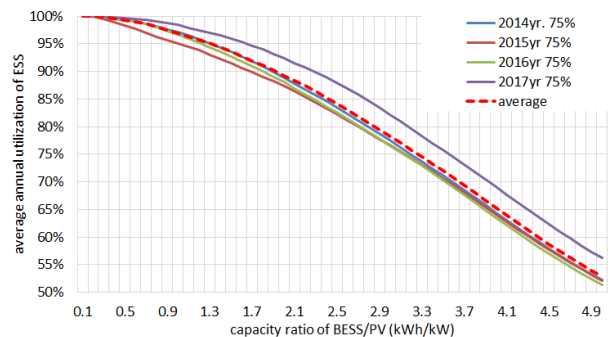


Fig. 7. Annual Utilization by ESS Installation Capacity

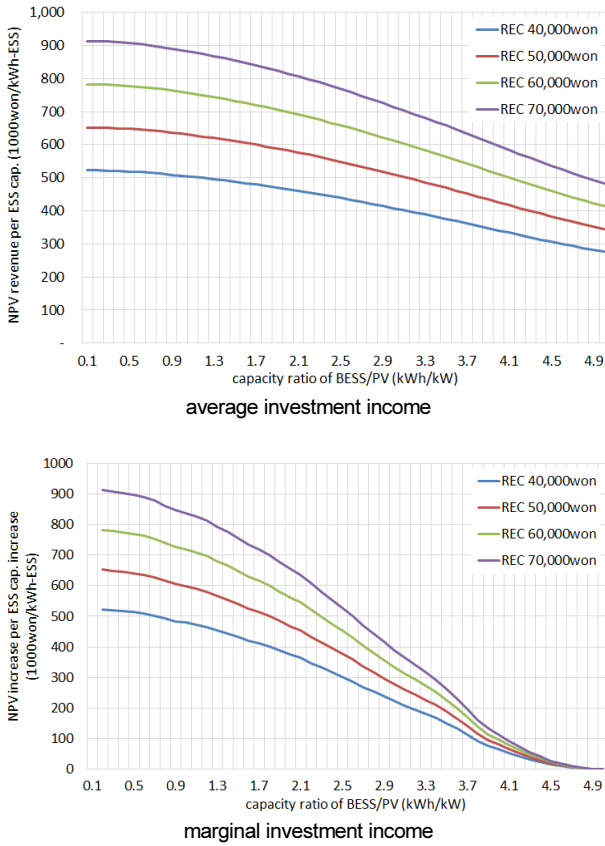


Fig. 8. NPV operating revenue per ESS capacity during life cycle (REC weight 1.0 of PV, REC weight 5.0 of ESS, won/kWh_ ESS)

REC 가격이 변하지 않는다는 가정에서 할인율 4.5%, 수명기간 12년을 적용한 수입의 현재가치 합은 다음과 같다.

$$NPV_{ESS} = 9.11858 \cdot YB_{ESS} \tag{9}$$

이를 바탕으로 ESS의 가용용량 kWh당 총수입 현가를 REC 가격 변화에 따라 산정하면 Figs. 8, 9와 같다.

ESS 가용용량 단가는 ESS 설치단가, ESS 가용률, 연간 운전유지비용 등에 따라 달라진다. 운전유지비용을 설치비용의 1.25%, 가용용량을 설치용량의 85%를 적용하면, 가용용량 단가는 가용축소로 1.176배 상승 및 운전유지비용 0.114배 추가로 설치비용 대비 1.29배로 증가한다.

$$OI_{ESS} = I_{ESS} / (CR_{max} - CR_{min}) + \sum_{i=1}^T (I_{ESS} \cdot OM_{ESS} / (1+r)^i) = I_{ESS} \cdot (1 / (CR_{max} - CR_{min}) + OM_{ESS} \cdot 9.119) = 1.29I_{ESS} \tag{10}$$

위의 식에서 $OI_{ESS} < NPV_{ESS}$ 가 되는 투자조건은 인센티브 가중치와 시장가격 기준으로 ESS 투자비 보다 수익이 높은 이

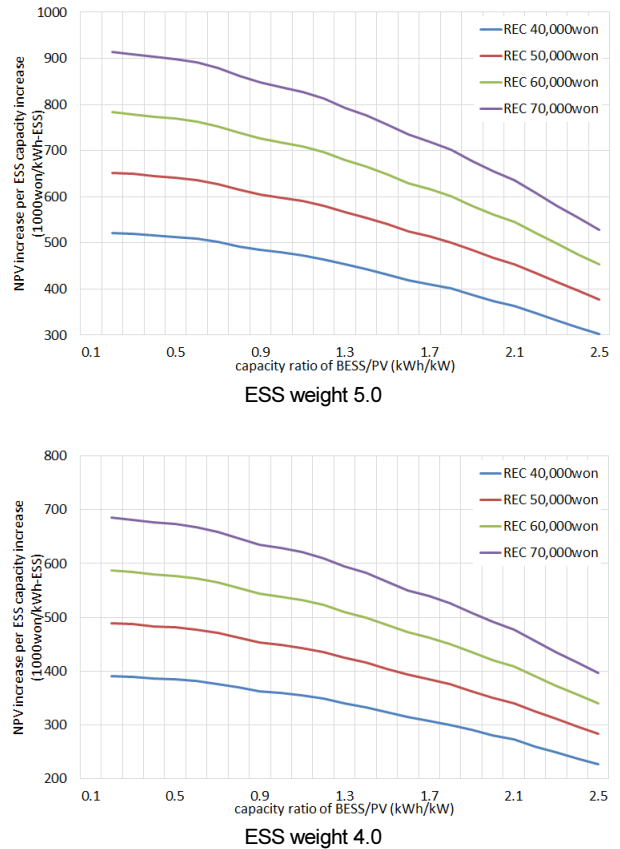


Fig. 9. NPV operating revenue per ESS capacity during life cycle (REC-weighted 1.0 of PV, won/kWh_ ESS)

용률 α_{ESS} 을 확보하는 ESS 용량까지 투자하는 것이다.

$$2529 \cdot \alpha_{ESS} \cdot (\omega_{ESS} - \omega_{PV}) \cdot REC > I_{ESS} \tag{11}$$

ESS 설치단가가 50 (만원/kWh_ ESS)인 경우에 실제 가용용량 기준으로 회수해야 하는 비용은 64.5 (만원/kWh-ESS)로 증가한다. ESS 단가를 ESS 5.0, PV 1.0 가중치에 적용하면 REC가 5만원에서는 PV의 0.3 규모의 소규모 설치, REC가 6만원 이상에서는 1.5 규모까지 최대수익 발생한다. ESS가 중치를 4.0으로 축소하면 REC 가격이 7만원 수준이 되어야 수익이 발생하고, 이하에서는 손실이 발생하므로 REC 인센티브를 통한 보급 목표 달성이 어렵다.

ESS는 PV대비 설치량이 증가할수록 이용률이 낮아진다. 이에 따라 ESS 용량이 증가할수록 용량증가당 수익을 줄어든다. 이에 따라 ESS 용량 결정은 한계용량 투입이 시장에서 확보할 수 있는 수입을 초과하는 범위이며, 정부의 인센티브 설계시 고려하여야 한다.

3.3 ESS의 피크절감과 투자유도

PV연계 ESS의 피크절감 효과는 최대로 전력을 생산하는 맑은 날을 기준으로 산정된다. Fig. 10은 연간 최대발전일을 기준

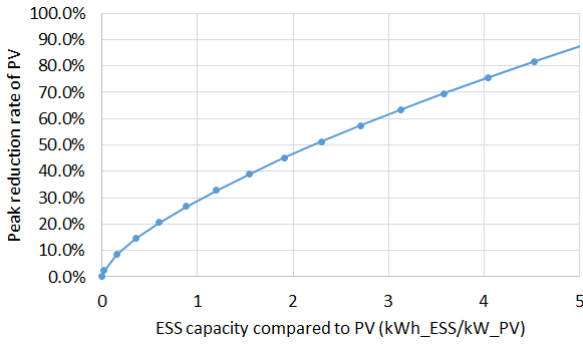


Fig. 10. Effect of ESS Installation on Peak Power Savings

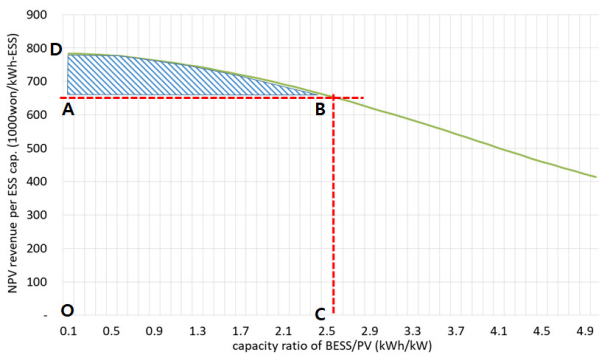


Fig. 11. Excess revenue for ESS

으로 ESS 설치로 피크를 줄일 수 있는 수준을 나타낸다. 피크를 50% 줄이기 위해서는 PV 1 kW에 ESS 2.1 kWh를 설치하여야 한다. 앞의 분석에서 REC 가격 5만원에서는 PV의 0.3 규모로 ESS를 설치하면 10%의 피크절감 효과를 기대할 수 있다.

일반적으로 재생에너지의 이용률은 기상 상황에 따라 달라지며, 일간 이용률의 분포는 앞에서 분석한 바와 같이 연도별 약간의 차이가 발생하고 있으나, 사업자가 선택할 수 없는 외부요인이다. 그러나, ESS 설치에 따른 이용률은 PV 용량 대비 ESS 용량 규모에 따라 달라지며, 사업자가 선택할 수 있다.

Fig. 11에서 사업자의 ESS 설치용량은 용량당 투자비 및 운전유지비의 수명기간 NPV인 ‘A’ 점과 ESS의 이용률 α_{ESS} 에 따른 수명기간 NPV의 수입이 같아지는 ‘B’ 점이 되는 ‘C’ 점 까지 ESS 용량을 설치하게 된다. 이에 따라 총투자비 및 운전유지비용의 NPV는 ‘□OABC’가 되나, 수입의 NPV는 ‘OADBC’가 되어 항상 ‘△ABD’의 초과수입을 얻는다.

사업자는 인센티브 수준에 따라 적정 ESS 용량을 설치하여 초과수익을 확보하게 되므로 이를 반영하여 PV 용량 대비 일정 비율 이상의 ESS 용량 설치에 인센티브를 지불하는 정책이 필요하다. 이 경우에 효율적인 ESS를 확보할 수 있으므로 목표하는 계통안정화 효과를 얻을 수 있다.

3.4 프로슈머 거래에 ESS 참여

PV, ESS 등 소규모 발전자원의 확대는 지금까지의 중앙급전 계통운영에서 지역 단위의 계통운영으로 환경변화를 요구하

고 있다. 지금까지 계통운영은 전력거래소에서 대규모 발전자원을 이용하여 수요에 대응하여 운영하였으며, 20MW 이상의 중앙발전기를 대상으로 경제적인 발전운영을 출력을 경제적으로 급전하여 운영하고 있다.

태양광, ESS 등의 공급자원과 전기차, DR 등 소규모 분산자원의 증가는 중앙에서 관리 및 제어가 어렵게 되므로 분산자원의 최적 운영을 위하여 지역 내 최적 전력거래를 활성화를 위한 다양한 제도개발을 준비하고 있다. 또한, PV, ESS, 전기차 및 전력사용 기기에서 DC형이 증가함에 따라 DC 배전망의 도입 및 DC 망의 커뮤니티를 중심으로 전력거래를 수행하는 플랫폼 개발을 추진하고 있다. 플랫폼 내에서 전력을 거래하면 플랫폼 내 생산과 구매, 외부거래 비용을 포함하여 최소의 비용으로 운영하게 되므로 국가적으로 에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 기반이 된다.

커뮤니티 내에서 전력생산과 전력소비를 전력거래 플랫폼을 통하여 수행하며, 여기에 커뮤니티 내 PV와 ESS가 프로슈머로 참여한다. 현재 ESS는 PV 연계 후 발전하는 전력에 대하여 5.0 가중치의 REC를 발급받으며, 수용가 내 수요관리에 참여하면 충전전력 요금을 50%로 감면하고 있다. 이에 따라 플랫폼에서 ESS로 거래시에 현재의 REC 인센티브와 연계할 수 있는 제도 개선이 필요하다.

기존 ESS 연계로 설비를 투자한 사업자도 향후 REC 시장가격의 흐름을 분석하여 경제적인 ESS 설비용량을 초과하는 용량에 대하여 분산자원 중에서 수요관리 자원으로 분리하여 활용함으로써 수익개선의 노력이 필요하다. 수요관리자원을 위하여 심야에 충전하면 충전요금을 50% 할인하는 지원제도를 운영하고 있으므로 PV-ESS연계와 병행하여 운영이 필요하다.

4. 결론

PV연계 ESS에 대한 선행 연구논문은 전체 시간대의 일일 충전, SMP 가격 변화, REC 가중치에 따른 충전 이용률을 산정하여 PV+ESS의 운영특성과 경제성을 분석하였다. 본 연구논문은 PV연계(풍력연계 포함) ESS에 대한 REC 인센티브 정책에 따라 설치된 용량을 최대한 이용하는 관점에서 경제성에 영향을 주는 요소를 상세하게 분석하였다. 이를 바탕으로 ESS의 경제성에는 SMP 가격변동 영향요소를 제외하는 분석 방안을 제공함으로써 ESS 보급에 직접적인 영향을 주는 REC가격 변동과 인센티브 가중치 수준의 영향분석을 통하여 ESS의 신규 정책대안을 분석하는 방안을 제시하였다.

정부는 PV연계 ESS에 5.0의 REC를 인센티브로 제공하고 향후 4.0으로 축소하는 정책을 계획하고 있으며, REC의 시장가격 하락과 함께 수익성 악화가 가중될 수 있다. 이는 기존 설치되어 있는 ESS의 수익에도 영향을 준다. 사업자는 ESS설치 용량 축소로 경제성을 확보하므로 PV발전 피크를 줄이기 위한

ESS설치용량 비율과 인센티브를 연계하여 지원하는 방안이 필요하다.

본 논문에서 ESS 운영의 경제성 핵심요소에 대한 도출과 이의 변화를 시나리오로 분석하여 사업자의 현실적인 운영과 투자방향 및 효율적인 ESS운영에 대하여 제시였으며, PV발전량과 비교하여 과잉으로 투자된 ESS의 판단 및 다른 용도로 활용하여 새로운 수익 방향을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2019 2010107050).

References

- MOTIE, "Guidelines for management and operation for supply obligation of renewable energy and fuel mix.: (appendix 2) weight by renewable energy source," 2016.
- Oh, Y. J., "Status and prospect of energy storage system (ESS) in Korea", Hana Industry Info., 2019.
- Yun, C. S., "A study on the estimation of REC multiplier for ESS introduction," KMAC, 2014.
- Lee, W. G., Kim, K. W., Kim, B. H., "A research on PV-connected ESS dissemination strategy considering the effects of GHG reduction," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 25, No. 2, pp. 94-100, 2016.
- Kim, C. S., Yoo, T. H., Rhee, C. H. "The profitability analysis of BESS installation with PV generation under RPS," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 107-117, 2017.
- KPX, "Photovoltaic installations and 5-minute power generation (2014.1~2018.11)," 2018.
- Lee, J. M., Han, S. W., "Technology of energy storage system (ESS) linked to renewable energy," *Proceedings of KILEE*, Vol. 30, No. 5, pp. 27-34, 2016.
- Bass, R. B., Carr, J., Aguilar, J., Whitener, K., "Determining the power and energy capacities of a battery energy storage system to accommodate high photovoltaic penetration on a distribution feeder," *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 3, No. 3, pp. 119-127, 2016.
- Jackson, T. M., Walker, G. R., Mithulananthan, N., "Integrating PV systems into distribution networks with battery energy storage systems," *Power Engineering Conference (AUPEC), 2014 Australasian Universities, IEEE*, 2014.
- Chen, C., Duan, S., Cai, T., Liu, B., Hu, G., "Optimal allocation and economic analysis of energy storage system in microgrids," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vo. 26, No. 10, pp. 2762-2773, 2011.