에너지공학, 제26권 제4호(2017)
Journal of Energy Engineering, Vol. 26, No. 4, pp.107~117(2017)
https://doi.org/10.5855/ENERGY.2017.26.4.107

RPS 제도 하에서의 태양광발전 연계형 배터리시스템 수익분석 방법에 관한 연구

김창수 · 유태현 · 이창호†
한국전기연구원

(2017년 8월 31일 접수, 2017년 10월 11일 수정, 2017년 10월 13일 채택)

The Profitability Analysis of BESS Installation with PV Generation under RPS

Chang-Soo Kim · Tae-Hyun Yoo · Chang-Ho Rhee†
Korea Electrotechnology Research Institute

(Received 31 August 2017, Revised 11 October 2017, Accepted 13 October 2017)

요 약

2012년 Renewable Portfolio Standard(RPS) 제도가 시행된 이래, 태양광 및 풍력 등의 신재생 전원에 대한 대규모 투자가 이루어져 왔고, 최근에 정부는 배터리 에너지 저장시스템(Battery Energy Storage System, BESS)의 신재생설비 연계설치에 대한 정책을 도입하여 신재생설비가 전원으로서의 역할이 가능하게끔 유도하고 있다.
정책입안자 입장에서 변화하는 전력산업 환경을 수급관점에서 고려하기 위해서는 개별 정책효과 분석을 단순화하는 방법론을 필요로 한다. 이에 본 연구에서는 초기단계로 시작한 태양광발전 연계형 배터리시스템 정책 분석을 위해 국내 태양광 발전 실적을 바탕으로 태양광 발전량 분포를 일간이용률 지속곡선 형태로 제안하였고, 이를 바탕으로 최적 BESS 용량을 산출하는 방식을 통해 분석의 용이성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 본 논문의 방식을 통해 System Marginal Price(SMP) 및 REC 변화에 따른 BESS의 적정용량 범위를 간단히 파악할 수 있으며, 신재생정책 입안자 입장에서 정책효과를 가늠할 수 있도록 하는 도구로 이용할 수 있다. 현행 연계형 BESS 지원정책은 투자유인 제공이 부분적으로 가능하나, 설치 시점의 SMP 및 REC 가격에 영향을 받게 된다는 한계가 있다. REC 가격 상승과 감소에 따라서 시기별 최적용량이 바뀌어 설치비율이 계속 달라질 수 있어 정책변화에 의해 기술의 적용이 달라지는 결과를 가져온다. 따라서, 향후 제도개선을 모색할 경우에는 연계형 BESS 가치평가 시, 신재생전원과의 BESS의 발전량 분할로 인해 발생하는 정책지원에 대한 기술 의존성을 해결할 수 있는 방안을 고려하는 연구개발이 필요하다.

주요어 : PV 발전, 배터리 에너지 저장시스템, 이용률, 신재생에너지, 배터리용량 결정, RPS

Abstract - Since South Korea started to apply Renewable Portfolio Standard (RPS) in 2012, there have been huge investment for deploying renewable technologies. Recently, the government determined to incentivize battery energy storage system(BESS) with renewable generations in order to induce the improvement of dispatching capability.
In this paper, the annual pattern of PV generation based on actual generation data in South Korea is analyzed and the duration curve of capacity factor is proposed in order to provide the simplified analyzing methodology of present support policy for additional BESS installation for decision maker who is responsible for supply and demand planning. With suggested methodology, the range of appropriate BESS size with respect to the variation of system marginal price(SMP) and renewable energy certificate(REC) price can be derived briefly, and decision makers easily evaluate the effect of support scheme. Current policy for BESS installation support present additional BESS-related installation policy may give incentives to developers partially, however, the dependence between BESS size and benefit components

†To whom corresponding should be addressed.
Tel : 031-420-6120 E-mail : chrhee@keri.re.kr

(SMP and REC) can limit the deployment of the various portfolios of the BESS. Therefore, when improving the current policy in future, addressing the dependence between the technical aspects of battery size and the benefit components separately by the technical and economical parts is needed to set the suitable compensation rules for the renewable generation and BESS.

Key words : PV Generation, Battery Storage System, Capacity Factor, Renewable Energy, Battery Size Determination, Renewable Portfolio Standard

1. 서론

1990년대부터 기후변화에 대응하기 위한 노력의 일환으로, 전 세계 전력산업은 기존의 화석연료에 기반한 발전의 형태에서 탄소배출 저감을 위한 저탄소전원의 확대 방안을 모색하기 시작하였으며, 태양광(Photovoltaic, PV), 풍력 등과 같은 설비기반 신재생에너지원들이 각광받고 있다. 각 국가들은 전통적 전원에 비해 비용부분에서 약점을 가지는 신재생에너지 전원에 대해 발전차액지원제도(Feed-in-Tariff, FIT)나 Renewable Portfolio Standard(RPS) 등의 지원책을 통해 보급확대를 추진하고 있다. 한국의 경우, 2012년부터 발전차액지원제도를 종료하고 RPS제도를 도입하여 전원별 가중치를 바탕으로 지원금을 제공하고 있다.

설비기반 신재생에너지 전원은 전통적 화력발전에 비해 탄소배출 저감에 강점이 있는 반면, 자연 요소에 근간하여 발전하기 때문에 출력감발은 가능하나 증발에 있어 제어 불가능한 측면이 있다. 특히 태양광발전은 야간시간대에 발전이 불가능하여 이를 보완할 수 있는 수단을 필요로 한다. 이에 배터리 에너지 저장시스템(Battery Energy Storage System, BESS)은 신재생에너지 발전력의 일부를 저장하여 필요시기에 공급할 수 있어 주목받고 있으며, 이에 대한 연구들이 이루어지고 있다[1,2,3]. 국내 BESS의 보급정책은 수용가 중심형 보급정책, 주파수조정용 보급정책, 신재생 연계형 보급정책, 에너지자립섬형 보급정책이 있으며 정부가 주도하여 견인하고 있다 [4]. 이 중에서도 신재생 연계형 보급정책은 기존의 설비기반 신재생에너지전원에 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 이외시간에 BESS에서 방전하는 전력량에 대하여 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC) 가중치 5.0을 제공하고 있다 [5].

신재생에너지 전원 보급의 확대를 위한 지원금 제공은 합리적 수준으로 결정되어야 하며, 산정을 위해서는 신재생 전원의 발전량에 의해 결정되는 설비 이용률 측면에서 비용에 접근하여야 한다. 이러한 접근은 꾸준히 연구되어 왔고 활용되어 왔으며, BESS으로의 확장 연구 또한 이루어져왔다 [1,6,7]. 특히, [1]에서는 국내의 연계형 BESS의 REC 가중치 수준에 관한 연구를 수행하였으며, 계절별 발전패턴을 활용하여 적정 REC 가중치를 산정하였다. 하지만, 선행연구의 분석방식은 발전원가에 기반을 둔 REC 가중치 산정에 초점을 맞추었기 때문에 BESS 보급 규모를 분석하는데 한계가 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 국내 태양광 발전 실적을 바탕으로 단순화된 함수의 형태를 제안하고, 이를 이용률 관점에서 접근하여 BESS 용량을 산출하는 방식을 통해 분석의 용이성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 이를 통해 신재생정책 입안자 입장에서는 보급 정책의 효과를 가늠할 수 있도록 하는 도구로 이용할 수 있고, 사업자 입장에서도 전력시장 가격(System Marginal Price, SMP) 및 REC 변화에 따른 BESS의 적정용량 범위를 파악할 수 있을 것으로 기대한다. 이와 더불어 신재생 전원 확대와 BESS 정책, 국내 전력시장 환경을 고려하여 향후 신재생에너지 연계형 BESS 활용 정책의 방향에 대하여 고찰하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 본론에서는 먼저, BESS의 적용분야를 결정하여 충·방전 알고리즘을 정하고, 여러 가지 가정들을 통해 분석대상 시스템을 구성하도록 한다. 이후에 국내 태양광발전패턴을 간단한 함수형태로 정식화한 후, 태양광 이용률 패턴과 함께 최적 배터리용량을 산출하는 과정을 서술한다. 마지막으로, BESS의 이용률에 따른 편익과 비용을 비교 분석하도록 한다. 결론에서는 분석방식 및 결과를 종합정리하고, 향후 현행제도의 보완 시 고려해야할 사항에 대해 제언한다.

2. BESS 적용 분야 결정과 시스템 가정

2-1. 국내 전력 수급분야 BESS 적용

BESS는 전력시스템 운영에 있어 다양한 방식으로 적용될 수 있다. 주파수 조정 및 예비력 보조서비스 공급을 위한 5~10분 단위의 부하이동을 위해 적용할 수 있고, 신재생에너지 출력변동을 보완하기 위한 1시간 이내의 단시간 발전력 보완에 활용할 수도 있으며, 전력수급 및 지역계통 안정을 위해 1~10시간 단위의 발전력 이동을 담당할 수도 있다. 발전력 이동의 경우, 신재생에너지 연계형 BESS 지원 정책 중에서 태양광과 풍력발전의 BESS 연계 조건을 만족하는 발전이동으로 활용할 수도 있다.

국내의 전력시장의 경우, 변동비반영 시장의 특수성으로 인하여 태양광발전가능 시간 중 SMP의 최소값과 최대값 사이의 편차로 발생할 수 있는 수익의 수준이 크지 않다. [Fig. 1]은 2012년부터 2016년까지의 일단위 최대, 최소 SMP에 대한 그래프이고, [Fig. 2]는 그 차이를 나타낸 그래프이다. [Table 1]은 배터리 충·방전 손실 80% 수준과 90% 수준을 고려하였을 때 BESS를 통한 수익을 고려해볼 수 있는 날들의 합을 나타낸 것이다. 경제적인 충·방전 가능일수는 과거에 비하여 지속적으로 감소하고 있으며, 90%효율을 가정하더라도 2016년 기준 BESS를 이용할 수 있는 일수는 전체의 30% 수준이다. [Table 2]에서 나타나는 바와 같이 최대최소 변폭의 평균은 점차적으로 줄어들고 있으며, 이는 SMP 차익을 통한 수익획득이 점점 어려워짐을 알 수 있다.

상기한 바와 같이 한국의 전력 시장 특징에 의해 BESS 연계 설치는 SMP만을 통한 수익을 얻을 수 없으므로, 경쟁 환경에서 이용될 수 없다. 하지만, BESS는 발전력 이동을 가능하게 하여 운영상의 편익을 제공할 수 있기 때문에 추가적 보상금을 지원하여 설치를 활성화하려는 정책이 이루어지고 있다. 정책 입안자 입장에서는 추가보상금에 대한 BESS 설치사업자의 행동에 대해 분석하여야 하며, 이에 본 연구에서는

Table 1. Possible days of making SMP profit by generation shifting with BESS
(Based on 2012 ~ 2016 performance, efficiency : 80%, 90%)

	BESS 이용 수익발생 가능일수(일)		BESS 이용 수익발생 불가능일수(일)	
효율	80%	90%	80%	90%
2012년	233	321	133	45
2013년	148	305	217	60
2014년	41	174	324	191
2015년	61	131	304	234
2016년	55	111	311	255

Table 2. Average differences of daily maximum and minimum SMP

(원/kWh)

	2012	2013	2014	2015	2016
변폭	51.66	34.57	23.61	15.18	9.43

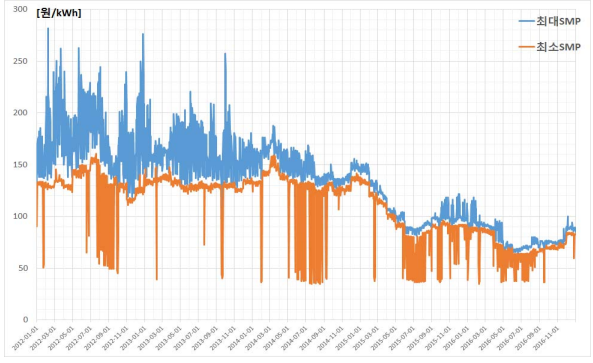

Fig. 1. Maximum and minimum SMP in 2012 ~ 2016

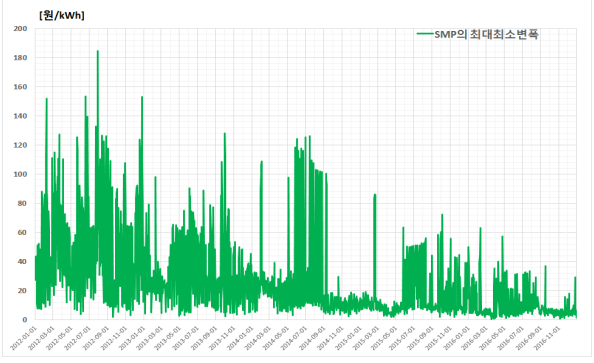

Fig. 2. Difference between maximum and minimum SMP in 2012 ~ 2016

현행 제도 하에서의 비용 및 편익에 따른 BESS 설치 규모에 대한 분석방법을 제안하고자 한다.

2-2. BESS 구성과 가정

태양광발전에 연계하여 설치하는 BESS 구성에서의 주요 쟁점사항 중 하나는 Power Conversion System (PCS) 용량 및 배터리의 규모를 결정하는 것이다. 본 논문에서는 발전력 이동을 위한 태양광 발전설비 용량 및 PCS 용량의 최적 구성비가 다양할 수 있음을 고려하기 위해, 구성비를 제한하지 않고 시간단위의 태양광발전량 전부를 배터리로 저장시키는 것으로 하여 설치자가 자신의 수익을 최대화할 수 있는 배터리 용량을 정함으로써 시스템을 구성하는 것으로 상정하였다.

배터리 충·방전 효율은 보상 지급의 대상이 되는 전력량 결정에 있어 중요한 요소이고, 이를 신중히 결정하여야 한다. BESS에서 전기에너지를 충·방전 시키는 경우, PCS의 변환효율과 배터리의 효율 때문에 손실이 발생하게 된다. 본 논문에서는 PCS 변환효율 90%, 배터리 자체 효율 90% 정도를 고려하여 전체 충·방전 효율을 80%정도로 설정하였다.

배터리 수명의 경우, 기존의 문헌에서는 배터리 100% 충전에서 0% 방전을 1회 방전심도(Depth of Discharge, DOD)라고 할 때 4,000 사이클 정도의 수명특성을 가지는 것으로 나타나 있다 [8]. 본 논문에서는 일일 충전과 방전을 1회씩 수행하며, 수명기간 동안 매일 충·방전을 수행하는 시스템을 상정하였다. 이 경우, BESS은 10년이 조금 넘는 수명을 가지게 되는데, 보수적으로 접근하여 10년의 수명을 가진다고 상정하였다. 단, 수명기간동안의 배터리 노화로 인한 성능 감소가 일어날 수 있는데, 본 논문에서는 연간 운전유지비를 통해 성능이 초기수준으로 유지된다고 가정하였다.

3. 이용률 접근을 위한 태양광 발전패턴과 배터리 저장시스템 분석 모델

3-1. 국내 태양광 발전패턴의 표준화

태양광 발전은 지리적 요인에 따라 발전량이 달라질 수 있기 때문에 많은 국가들에서는 고유의 연간 평균 발전량에 근거하여 비용과 편익을 산출하고, 이를 바탕으로 보급 정책을 수립하고 있다. 발전원가에 대한 정량적 접근은 국가마다 다르게 설정되며, 한국에서도 고유의 태양광 발전량을 고려하여 분석하여야 한다. 본 논문에서는 2009 ~ 2011년 전국 태양광의 시간별 발전실적을 바탕으로 일별이용률을 산정하였다.

$$\text{일별이용률}_i = \frac{\sum_{t=1}^{24} PVE_{i,t}}{(PVC_i \times 24)} \quad (1)$$

(i : 대상일, t : 대상시간, PVC_i : i일의 설비용량, $PVE_{i,t}$ = i일 t시간대의 발전량)

일별이용률에 대한 연간 확률분포 지속곡선을 표현한 결과는 [Fig. 3]과 같다. 국내 태양광발전의 이용률은 0%에 가까운 값부터 최대 30%까지 분포하고 있음을 알 수 있으며, 5%와 25%구간에서 급격히 변하는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 이러한 실적 바탕으로 연단위 태양광 발전 일간 이용률을 [Fig. 3]에서 나타난 점선과 같은 구간 선형함수로 정하여 분석을 수행하였다.

$$f(t) = \begin{cases} 0.3 - 0.5t & (0 \le t \le 0.1) \\ 0.25 - 0.25(t-0.1) & (0.1 \le t \le 0.9) \\ 0.05 - 0.5(t-0.9) & (0.9 \le t \le 1) \end{cases} \quad (2)$$

($f(t)$: PV일간이용률 분포곡선, t : 365일 분포확률)

정규화된 연간 태양광이용률 함수패턴의 면적은 발전량의 합을 정규화한 값으로써, 0.15의 수치로 나타났으며, 이는 연간 송전단 이용률이 15% 수준임을 나타낸다.

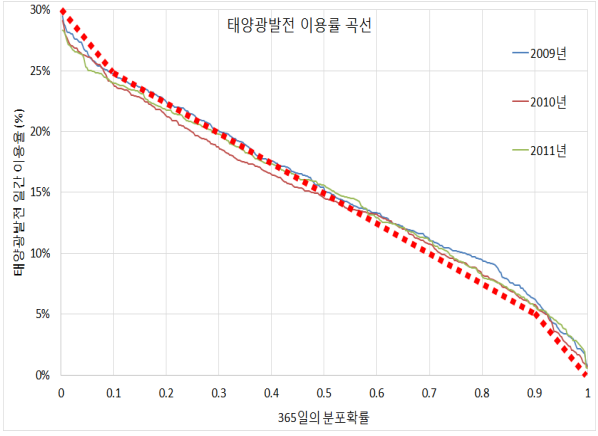

Fig. 3. Distribution curve of daily capacity factor based on performance in 2009 ~ 2011

3-2. 이용률 관점에서의 BESS 수익의 분석

신재생에너지 전원은 간헐적 특성을 가지고 있기 때문에 연단위 발전량 변화를 고려하여야만 수익을 분석할 수 있다. 연계형 BESS의 수익 역시 이러한 관점에서 접근하여야 하며, 본 절에서는 3-1절에서의 패턴 함수를 이용하여 연단위 BESS 활용을 이용률 관점에서 접근하여 분석하도록 한다.

수급 계획에서의 이용률은 발전기 또는 발전소가 대상 기간 동안 최대출력으로 연속 운전 시, 생산 가능한 전력량에 대한 실제 전력 생산량의 비율을 의미한다 [9]. 생산 가능한 전력량은 발전기의 출력과 대상 기간을 통해 산정되는데, 양수발전이나 BESS 등 에너지저장장치는 이용의 성격에 있어 출력보다는 에너지 저장량에 중요성이 있다. 만약 출력을 이용하여 산정하게 되는 경우에는 에너지저장장치의 에너지 저장용량에 대한 고려가 이루어지지 않기 때문에 수급계획 이용에 큰 의미를 가지지 않는다. 이에 본 논문에서는 PCS 용량을 통한 출력을 이용하기 보다는 저장된 에너지로 생산 가능한 전력량을 정의하여 이용률을 산정함으로써, 에너지저장장치 가치를 평가할 수 있게끔 분석하였다. 일반적인 이용률과 에너지저장장치의 이용률에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\textit{Capacity Factor}\ (\text{용량이용률}) = \sum_{period} \frac{GEN(Period)}{CAP \times PeriodTime} = \frac{\text{평균출력}}{\text{정격출력}} \quad (3)$$

(*GEN(Period)* : 단위기간(Period)동안의 실제출력,
CAP : 발전기 최대출력,
PeriodTime : 이용률 산정 대상기간)

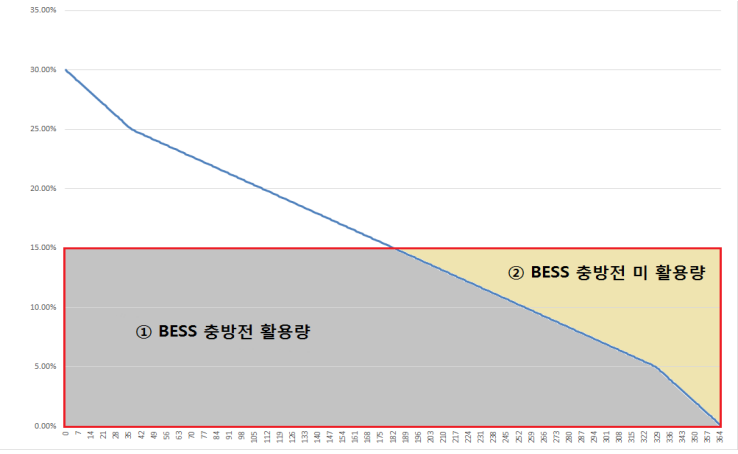

Fig. 4. The conceptual description for the annual capacity factor of BESS

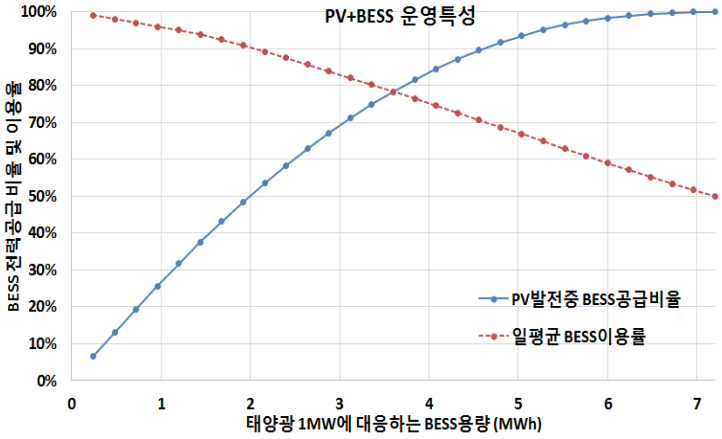

Fig. 5. The capacity factor and electricity supply ratio of PV with respect to BESS capacity

$$\textit{Storage Factor}\ (\text{저장이용률}) = \frac{\text{사이클 동안 총 공급량(저장량)}}{\text{저장용량}\times\text{사이클횟수}} = \frac{\text{1사이클 평균 공급량(저장량)}}{\text{저장용량}} \quad (4)$$

BESS의 이용률은 배터리저장가능 용량을 연단위로 패턴화한 후, 두 패턴의 중첩 시간대의 값들을 적분함으로써 산정될 수 있다. 즉, 정규화된 패턴이 겹치는 면적부분은 연간 배터리에 충전되는 전력량을 나타내고, 겹치지 않은 부분은 이용되지 않는 부분으로 볼 수 있다. [Fig. 4]와 같이 연단위 태양광발전패턴에 대하여 서로 간에 중첩되는 부분(①)이 충 · 방전 활용부분이 되고, 중첩되지 않는 부분(②) 미 활용부분이 되어 이를 바탕으로 이용률을 산정할 수 있다.

예를 들어, 모든 태양광 발전량을 저장한 후 방전한다고 하면 정규화된 BESS 이용률함수 패턴의 수직축 절편은 태양광발전과 같이 0.3의 값을 가지게 될 것이고, 연간 이용률은 50%가 된다. 더 나아가, 상기 태양광발전 이용률 함수의 특성을 보면, 배터리용량을 아무리 작게 설정하여도 이용률이 100%가 될 수 없음을 알 수 있다.

상기 이용률 결정방법을 바탕으로 1MW 태양광 용량에 대응하는 BESS의 용량에 대한 일평균 BESS 이용률 및 배터리 전력공급비율의 그래프는 [Fig. 5]와 같이 나타낼 수 있다.

발전사업자가 자신의 모든 발전량을 충전하여 REC 가중치가 높은 시간대에 방전하는 시스템을 구성할 경우, 배터리시스템의 이용률은 50%가 되어 과다 설비투자가 될 가능성이 있고, 높은 이용률을 위해 배터리 용량을 줄이게 되면 수익이 발생하지 않을 수도 있다. 따라서, 설비 규모결정의 적정수준을 결정하기 위해서는 전력시장가격과 REC 가격으로 발생하는 수익과 BESS 투자비용을 비교하여야 한다.

3-3. BESS 연계 비용 및 수익의 평가방법

본 논문에서는 연계시스템 운전 시의 비용 및 수익에서 신재생에너지전원 단독운전 시의 비용 및 수익을 차감하여 BESS 설치에 대한 편익을 알아보고자 한다. 이러한 비교를 통해 단독운전에 대한 별도 비용 산출을 배제할 수 있으며, 수익변화와 BESS 비용을 통해 수익이 창출될 수 있는지를 판단할 수 있다[1].

BESS비용 산정에서 설비투자비를 세분하여 분석할 수 있도록 PCS, 배터리, BOS(Balance of System), 공사비, 운영비 등의 항목으로 분류하고, 각각의 비용은 개인 설치사업들과 정부사업 등에서 이용된 수치들을 고려하여 단가를 설정하고 분석하였다. 단일 단가를 통한 분석의 한계를 극복하기 위해 사례 연구에서는 다양한 투자비 시나리오의 비교를 수행하였다.

BESS 수익의 경우, 크게 SMP수익과 REC를 통한 수익을 구성될 수 있다. SMP수익은 발전력 이동으로 인해 얻을 수 있는 SMP 수익이 배터리 충 · 방전 효율에 의한 생산전력량 감소 손실과 상쇄될 수 있기 때문에, 본 논문에서는 SMP 차익에 의한 수익을 고려하지 않기 위해 연간 SMP 수준은 모두 동일하다고 가정하고 분석을 시도하였다. REC 수익은 태양광 발전 단독운영 시 받게 되는 REC 가중치와, BESS 충 · 방전량 및 REC 가중치의 차이를 통해 산출할 수 있다. 이를 종합하여 표현하면 다음과 같다.

$$\textit{BESS}\text{설치시 수익변화} = (\textit{SMP}\text{ 수익변화}) + (\textit{REC}\text{ 수익변화}) = \{\text{연평균}\textit{SMP}\times(\text{충방전효율}\times\textit{BESS}\text{ 충전량} - \textit{BESS}\text{ 충전량})\} + \{\text{연평균}\textit{REC}\times(\textit{BESS}\text{ 가중치}\times\text{충방전효율}\times\textit{BESS}\text{ 충전량} - \text{신재생전원가중치}\times\textit{BESS}\text{ 충전량}\} \quad (5)$$

4. 사례연구

4-1. 상정 상황에서의 적정 BESS 용량 범위 분석

본 절에서는 연간 태양광 이용률 함수와 그에 따른 BESS 이용 방법을 바탕으로 상황을 상정하여 모의하였으며, 이용되는 입력 값들의 정보는 [Table 3]과 같다. 저장시스템 투자비용은 단위 저장용량 당 570천원/kWh를 설정하였으며, 여기에는 PCS비용과 설치비 등이 모두 포함되어 있다. 전력시장가격은 2016년 평균 77원/kWh 및 2017년 상반기 평균 84원/kWh를 반영하여 평균 80원/kWh를 적용하였다.

연평균 SMP 80원/kWh 수준에서 PV 1MW 대비 REC 가격 수준에 따른 배터리 용량별 수익은 [Fig. 6]과 같이 나타난다.

1) 신재생에너지전원과 BESS를 연계하는 시스템을 같이 구축할 경우와는 다르게 기설 설비에 대한 연계설치이기 때문에 가능하다.

Table 3. Parameters for economic analysis

ESS충·방전 효율 (round-trip)	80%	태양광REC 가중치[2)]	1.0
ESS투자비용	570천원/kWh	연계설치형 배터리REC 가중치	5.0
수명	10년	연평균 SMP	80원/kWh
WACC 및 할인율	5.50%	연평균 REC	80 ~ 120 천원/MWh
운전유지비	1.25%	자본회수계수	0.132667769

Table 4. Cost and net profit of BESS with respect to REC price and BESS size

ESS설비 (MWh)	REC 120천원/REC				REC 100천원/REC			
	SMP편익	REC편익	ESS비용	순수익	SMP편익	REC편익	ESS비용	순수익
1.20	-6,658	149,796	-99,295	43,844	-6,658	124,830	-99,295	18,878
2.40	-12,264	275,940	-198,590	65,086	-12,264	229,950	-198,590	19,096
3.60	-16,469	370,548	-297,884	56,195	-16,469	308,790	-297,884	-5,563
4.80	-19,272	433,620	-397,179	17,169	-19,272	361,350	-397,179	-55,101
6.00	-20,674	465,156	-496,474	-51,991	-20,674	387,630	-496,474	-129,517
7.20	-21,024	473,040	-595,769	-143,753	-21,024	394,200	-595,769	-222,593
ESS설비 (MWh)	REC 80천원/REC				REC 60천원/REC			
	SMP편익	REC편익	ESS비용	순수익	SMP편익	REC편익	ESS비용	순수익
1.20	-6,658	99,864	-99,295	-6,088	-6,658	74,898	-99,295	-31,054
2.40	-12,264	183,960	-198,590	-26,894	-12,264	137,970	-198,590	-72,884
3.60	-16,469	247,032	-297,884	-67,321	-16,469	185,274	-297,884	-129,079
4.80	-19,272	289,080	-397,179	-127,371	-19,272	216,810	-397,179	-199,641
6.00	-20,674	310,104	-496,474	-207,043	-20,674	232,578	-496,474	-284,569
7.20	-21,024	315,360	-595,769	-301,433	-21,024	236,520	-595,769	-380,273

[Table 4]는 [Fig. 6]에서 나타난 각각의 REC 가격과 BESS 규모별 순수익을 정리한 표이다. 앞서 검토한 바와 같이 용량이 커지면서 BESS 이용률은 낮아지나, 순수익은 일정수준까지 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 REC 가격이 높은 경우, 낮은 BESS 이용률을 감수하고 더 많은 배터리 용량을 확보하여 운영할 수 있음을 뜻하며, 동일 수익을 낼 수 있는 배터리 용량이 다를 수 있음을 나타낸다.

순수익 발생 범위를 REC 가격 별로 살펴보게 되면, REC가 120천원/MWh 수준에서는 PV용량 1MW 설비에 대하여 BESS 용량 5.2MWh 설치까지 순수익을 얻을 수 있으나, REC 가격이 하락하면 경제적인

2) 본 연구에서 태양광 가중치는 1.0으로 가정하였는데, 설비의 규모나 설치 위치 등에 따라 다양하게 변화할 수 있다. 1.0보다 큰 가중치를 사용하는 경우, 배터리 손실에 의해 수익이 감소하므로 설치 가능한 BESS 크기의 범위가 줄어들 수 있다.

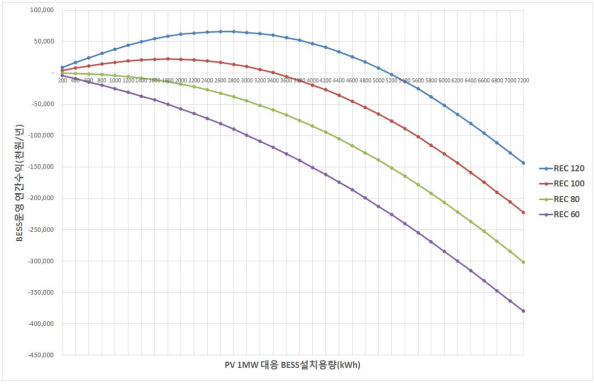

Fig. 6. Developer's profit with respect to BESS size for various REC price

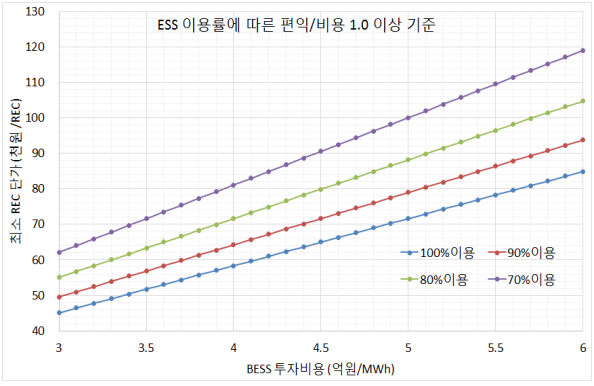

Fig. 7. Equal point of BESS cost and benefits with respect to installation cost changes

Table 5. Change in optimal battery capacity and net profit according to REC price

REC 가격	최적배터리용량 (kWh)	BESS 이용률	SMP 수입변동 (천원/년)	REC 수입변동 (천원/년)	BESS 비용 (천원/년)	순수익 (천원/년)
60 천원/MWh	0	-	-	-	-	-
80 천원/MWh	0	-	-	-	-	-
100천원/MWh	1811	91.60%	- 9,685	181,599	- 149,816	22,098
120천원/MWh	2646	85.68%	- 13,240	297,898	- 218,939	65,719

BESS 설치용량이 줄어들게 된다. REC 가격이 80천원/MWh 이하로 하락하면 BESS를 설치하지 않는 것이 수익을 최대화할 수 있는 방안으로 나타났다. 이는 가중치 수준이 5.0으로 높게 책정되어 있더라도 거래 REC 가격수준이 낮으면 사업자가 BESS 설치유인이 없음을 나타낸다.

[Table 5]는 순수익을 최대화할 수 있는 배터리의 용량을 REC 가격에 따라 나타낸 것이다. REC 가격이 120천원/MWh 일 경우에는 수익을 최대화하는 BESS 용량이 약 2.65 MWh로써, PCS 500kW 용량을 가정하였을 때, 5시간정도의 방전을 하는 시스템으로 구성되며, REC 가격이 100천원/MWh 일 경우, 약 3.6시간 정도 방전하는 BESS 시스템이 된다.

4-2. BESS 투자비용 변화에 따른 비용편익 분석

앞선 절에서는 입력 지표들에 대해 특정 상황을 상정하여 적정 BESS 설치 용량에 대하여 살펴보았다. 다수의 설치사업자들의 유도를 위해서는 다양한 규모와 비용을 가지는 적격 BESS에 대하여 수익을 보장할 수 있어야 하며, 본 절에서는 다양한 조건 하에서 BESS 투자비용의 변화에 따라 수익을 확보할 수 있는 구간(편익/비용 비율 1.0 이상인 구간)에 대해 분석하였다. BESS 이용률에 따른 편익/비용 비율 1.0 이상의 REC 가격 기준은 아래의 수식으로 산출할 수 있으며, 투자비용 변화에 따른 분포는 [Fig. 7]과 같다.

$$REC\text{기준} = \frac{\{(BESS\text{ 연간비용}) + (\text{충방전으로 인한 연간 } SMP\text{ 손실}\}}{\{(BESS\text{ 가중치반영 연간발전량}) - (PV\text{ 가중치반영 연간발전량})\}} \quad (6)$$

먼저, 동일한 BESS 투자비용에 대해서는 이용률 수준이 낮아질수록 설치사업자의 이윤을 보장할 수 있는 REC 수준이 높아졌는데, 이는 BESS 에서의 방전에 대해서만 높은 수준의 REC 가격을 제공함과 더불어 SMP 수준이 비용 회수에 기여하지 않기 때문이다. REC 수준이 증가하면서, 이용률이 높은 시나리오에서 낮은 시나리오에 비해 더 많은 REC 수준을 요구하는 이유는 발전량은 변화하지 않으나, 비용수준이 증가하

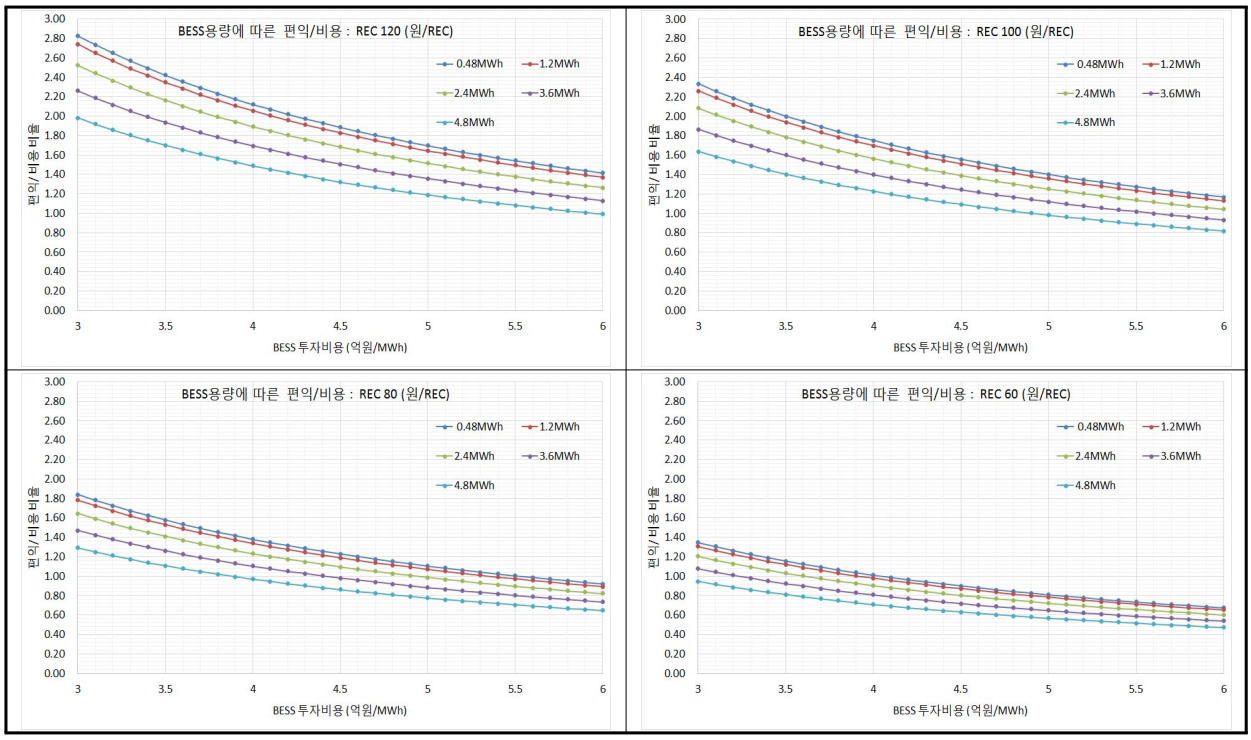

Fig. 8. Sensitivity analysis of cost and benefit ratio with respect to BESS installation cost for various BESS size

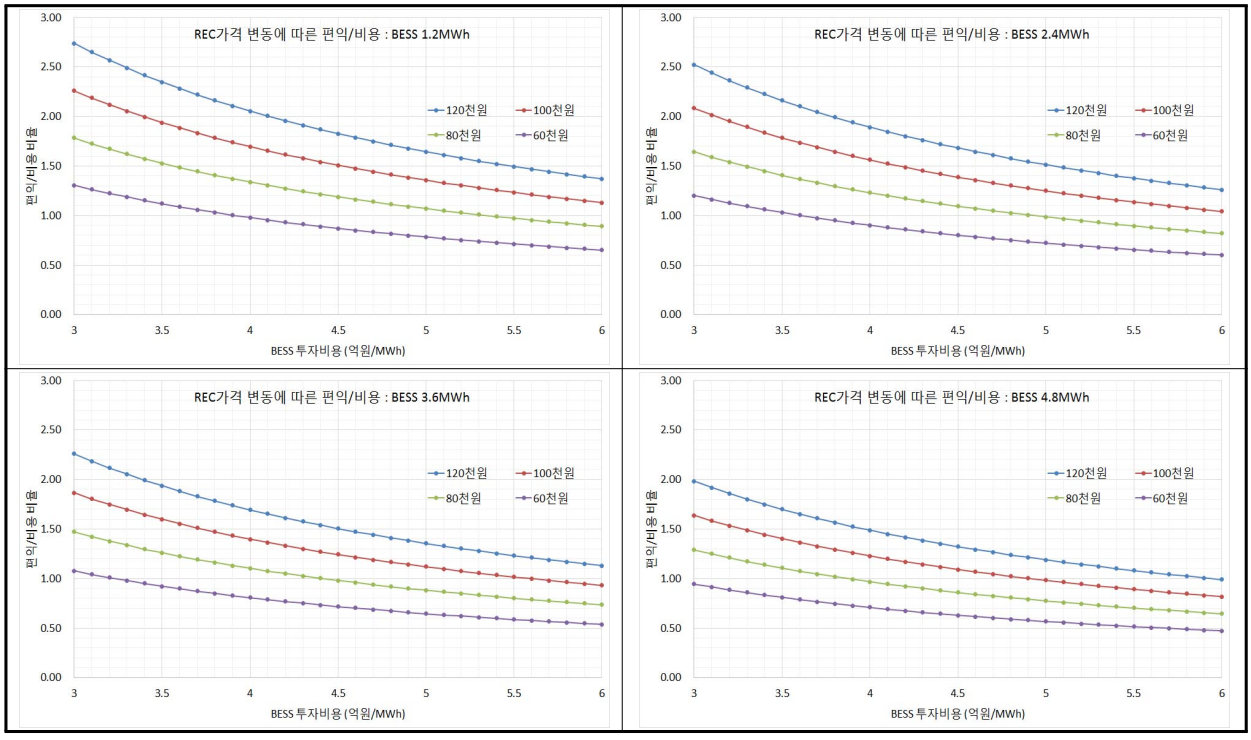

Fig. 9. Sensitivity analysis of cost and benefit ratio with respect to BESS installation cost for various REC price level

면서 이를 회수하게 해주는 REC가격의 증가분이 더 커야하기 때문이다.

[Fig. 8]은 서로 다른 REC 수준에서 BESS 용량 별 투자비용에 따른 편익/비용 비율의 민감도를 분석한

결과이다. 모든 REC 수준에서, BESS 투자비용이 높아질수록 용량의 차이에 의한 편익/비용의 비율 격차가 점점 줄어드는데 이는 규모가 작아질수록 BESS 투자비용에 대해 수익의 차이가 많이 발생함을 의미한다.

[Fig. 9]는 서로 다른 BESS 용량에 대한 REC가격별 BESS 투자비용에 따른 편익/비용 비율의 민감도 분석을 나타낸 것이다. 모든 BESS 용량 규모에서 BESS 투자비용이 높아질수록, REC 가격 차이에 의한 편익/비용의 비율 격차가 점점 줄어든다. 설비 규모가 커지면 커질수록 수익이 비용을 넘지 못하는 구간이 많아지게 되는데, 이는 REC가격 수준이 낮아질수록 대규모 설비가 새로이 건설될 가능성 또한 낮아짐을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 현행 RPS제도 하에서 BESS을 활용한 태양광 전원의 발전력 이동 시, 설치사업자의 배터리 용량규모 결정범위와 그에 따른 적정 지원수준에 대해 분석하였다. 태양광발전량에 대해 국내 발전특성을 고려하고 이용의 편의성을 도모하기 위해 2009 ~ 2011년 태양광발전실적을 바탕으로 연간 태양광 발전 패턴누적곡선을 구간선형함수로 도출하였다. PV-BESS 구성의 운영패턴에 부합하는 충·방전 사이클을 상정하였으며, 연간 태양광 발전 변동성을 반영할 수 있도록 일별 이용률 변동을 고려하여 분석을 시도하였다.

분석 결과에 따르면 충·방전에 따른 SMP수익 및 REC 수익 변화에 따라, 설치사업자가 선택하는 BESS의 배터리용량이 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 REC 가격수준이 SMP에 비해 큰 영향을 주는 것으로 나타났는데, 이는 BESS 전력량에 대하여 REC 가중치가 5.0로 주어질 경우, 수익변동이 SMP 수익 변동 수준에 5 ~ 8배에 해당하기 때문이다. REC 가격 수준이 낮아질수록 설치사업자의 수익을 보장할 수 있는(B/C 1.0 이상)의 배터리 용량 선택범위는 줄어드는 결과를 보였으며, 일부 낮은 REC 가격수준에서는 BESS 설치로 인한 수익이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

본 논문을 통하여 현행 연계 설치형 BESS 지원 정책이 설치사업자에게 투자유인을 줄 수 있으나, BESS 규모가 설치 시점의 SMP 및 REC 가격에 영향을 받게 된다는 점을 확인하였다. 계통운영 측면에서 BESS의 적정규모는 향후 태양광발전 보급 확대에 따른 BESS 연계형 설비의 전원기여도 및 계통운영 안정화(배전 등)의 영향을 고려하여 설정하는 것이 바람직하며, 이에 따라 정부의 태양광발전과 연계한 BESS 보급정책에서 적정규모를 확보하기 위한 REC 가중치 설정에 본 연구가 적용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161210200310)

References

1. 윤철산 외, 2014, “ESS 부가설치형 RPS 가중치 산정에 관한 연구”.
2. Bass, Robert B., et al., 2016, "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 3.3 : 119-127.
3. Jackson, Tara M., Geoffrey R. Walker, and Nadarajah Mithulananthan., 2014, "Integrating PV systems into distribution networks with battery energy storage systems." Power Engineering Conference (AUPEC), 2014 Australasian Universities. IEEE.
4. 이원구 외, 2016, “온실가스감축효과를 고려한 태양광 연계형 에너지저장장치(ESS)보급 전략에 대한 연구”, 에너지공학회논문지.
5. 산업통상자원부, 2016, “신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침-<별표 2> 신·재생에너지원별 가중치”
6. Chen, Changsong, et al., 2011, "Optimal allocation and economic analysis of energy storage system in microgrids." IEEE Transactions on Power Electronics 26.10 : 2762-2773.
7. Hemmati, Reza, Hedayat Saboori, and Mehdi Ahmadi Jirdehi., 2016, "Multistage generation expansion planning incorporating large scale energy stor-

age systems and environmental pollution." Renewable Energy 97 : 636-645.
8. 이정민, 한석우., 2016, "신재생에너지 연계용 에너지 저장장치 (ESS) 의 기술." 조명・전기설비 30.5 : 27-34.
9. 전력거래소, 2003, “전력거래용어 해설집”