

PV-BESS 시스템의 적정 PCS, 배터리용량 산정에 따른 최적 운영에 관한 연구

A Study on the Optimal Operation According to Appropriate PCS and Battery Capacity Estimation of PV-BESS System

최윤석* · 나승유†
(Yun Suk Choi · Seung You Na)

Abstract - In December 2017, the government announced plans to increase the current proportion of renewable energy from 7% to 20% by 2030 through a plan called the Renewable Energy 3020 Implementation Plan. Therefore, the demand for installation of photovoltaic(PV), wind turbine(WT) and battery energy storage system(BESS) is expected to increase. In particular, the system combined with energy storage system(ESS) is expected to take up a large portion since PV and WT can receive high renewable energy certificates(REC) weights when combined with ESS.

In this study, we calculate the optimal capacity of the power conditioning system(PCS) and the BESS by comparing the economical efficiency and maximize the efficiency of the PV-BESS system in which the PV and the BESS are connected. By analyzing the system marginal price(SMP) and REC, it maximize profits through application of REC weight 5.0 and optimal charge-discharge scheduling according to the SMP changes.

Key Words : PV, ESS, BESS, PCS, SMP, REC, Optimal operation

1. 서 론

2017년 12월 정부는 재생에너지 3020 이행계획을 통해 오는 2030년까지 전체 발전량에서 신재생에너지가 차지하는 비중을 현재 7% 수준에서 20% 수준까지 대폭 늘리겠다고 밝혔다. 또한 일정 용량 이상의 공공기관 건축물에 에너지저장시스템(Energy Storage System, 이하 ESS) 설치를 의무화[1] 하는 등 에너지 관리 정책이 친환경 효율화 방향으로 전환되고 있다. 이에 태양광(Photovoltaic, 이하 PV), 풍력(Wind Turbine), 배터리 에너지 저장장치(Battery Energy Storage System, 이하 BESS) 등의 설치 수요가 늘어날 것으로 예상되며, 특히 태양광과 풍력은 ESS의 연계시 높은 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificates, 이하 REC) 가중치를 받을 수 있으므로 ESS와 연계된 시스템은 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다[3].

PV와 BESS는 효율이 높아지고 단가는 낮아지고 있지만 PV와 BESS가 결합된 PV-BESS 시스템에서 BESS의 경쟁력은 낮은 편이며 높은 초기 비용으로 인해 경제성 확보에 어려움이 크다. 그러므로 BESS를 구성하고 있는 PCS (Power Conditioning System, 이하 PCS)와 배터리의 적정 용량은 PV-BESS 시스템에 대한 경제성 평가의 중요한 요소이다.

본 연구는 PCS와 배터리의 적정 용량 산정과 함께 최적 운영 스케줄링으로 PV-BESS 시스템의 효율을 높인다. 기존의 순차 충전 및 방전 방식에서의 효율을 올리고자 계통한계가격(System Marginal Price, 이하 SMP)를 분석하고 REC 가중치 5.0을 받기 위한 각 구간별 운영방식을 달리하는 방법으로 최고의 수익을 낼 수 있는 운영 스케줄링 방법을 제안하여 시뮬레이션하고 최적 PCS 및 배터리 용량을 산정한다.

2. 본 론

2.1 PV-BESS 시스템

태양 에너지를 전기 에너지로 바꿔주는 PV 발전시스템은 특성상 날씨 및 기상 상태에 따라 전력 생산량이 크게 영향을 받으며, 특히 흐린 날이나 우천 시에는 발전량이 0에 가깝다. 따라서 안정적인 효율적인 시스템 운영을 위해 전력 생산량에 대한 예측이 필요하다. 예측된 일사량을 바탕으로 효율 및 경제성을 고려한 적정 PCS 및 배터리 용량을 산정하고 시간대별 SMP가 반영된 최적 운영 스케줄링을 적용하면 PV-BESS 시스템에서 최대의 효율을 끌어올릴 수 있다.

2.1.1 SMP 및 REC 가중치 판매 정책

정부는 신재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도

† Corresponding Author : Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University, Korea.
E-mail : syna12@jnu.ac.kr

* Korea Electric Power Research Institute, Korea.

Received : July 11, 2018; Accepted : August 21, 2018

관리·운영지침 개정을 통해 태양광 발전소에 ESS를 설치해 생산한 전기에 대해 REC 가중치를 5.0으로 부여한다[2].

표 1 2018년 REC 가중치 개정안

Table 1 2018 REC weights amendment

전원	대상에너지 및 기준		공급인증서 가중치	
	구분	세부기준	현행	개정 후
태양광	일반부지 (임야제외)	100kW미만	1.2	현행유지
		100kW이상	1.0 (복합)	현행유지
		3MW초과	0.7 (복합)	현행유지
	입야		0.7~1.2	0.7
	건축물 이용	3MW이하	1.5	현행유지
		3MW초과	1.0 (복합)	현행유지
	수상 태양광		1.5	현행유지
자가용 태양광		1.0	현행유지	
ESS	풍력설비 연계		4.5('18.6월)	4.5(18~19년), 4.0(20년)
	태양광설비 연계		5.0('18.6월)	5.0(18~19년), 4.0(20년)

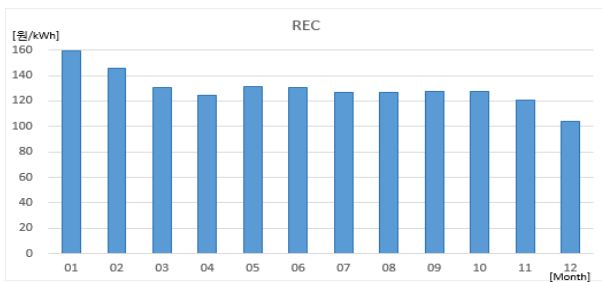


그림 1 2017년도 월별 평균 REC

Fig. 1 Monthly average REC in 2017

태양광, 풍력, 바이오, 폐기물, ESS 등 신재생에너지에 대한 REC가중치가 최근에 개정되었는데 이에 따르면 태양광, 풍력과 ESS 결합시 가중치가 가장 높으며 각각 5.0, 4.5의 가중치를 부여한다. REC 가중치 5.0을 받기 위해서는 정해진 시간대 10시부터 16시 사이에 ESS를 충전하고 그 외 시간에 ESS 판매를 하여야 한다. PV-BESS 시스템에 대한 REC 가중치 5.0은 2019년도 까지 연장되었고 향후에도 신재생에너지 발전 비중 달성을 위해 유지 또는 상향될 가능성이 높다고 할 수 있다.

SMP는 계통한계가격으로 거래시간별로 적용되는 전력량에 대한 전력시장가격(원/kWh)을 말한다. 지역별(육지 및 제주지역)로 구분되며, 거래일의 각 거래시간에 대하여 가격산정 자료(중앙급전발전기 발전비용자료, 발전기·전기저장장치의 입찰 또는 발전계획자료, 수요관리사업자의 입찰자료, 전력계통 수요예측, 발전기별 조정손실계수 등)를 이용하여 산출된 지역별 각 발전기의 유효발전가격 중 가장 높은 가격으로 결정된다. 다시 말하면 우리나라 전체 발전비용이 최소화되도록 발전가격이 싼 순서대로 가동시켜 예측된 전력수요를 충족할 때, 마지막 발전기의 발전가격이 그 시간의 SMP를 결정하게 된다[4]. SMP는 전력거래소(KPX)의

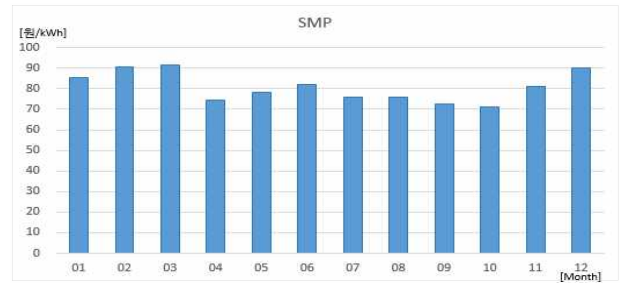


그림 2 2017년도 월별 평균 SMP

Fig. 2 Monthly average SMP in 2017



그림 3 2017년도 계절별 SMP Min/Max 값 및 특정일 변화

Fig. 3 SMP Min/Max values and specific day changes by season in 2017

웹사이트(<http://www.kpx.or.kr>)를 통해 당일 새벽에 게시된다.

그림 3의 각 그래프는 계절에 따른 2017년도 SMP의 최소값과 최대값을 시간대별로 보여준다. 일반적인 SMP는 겨울의 그래프와 같이 작은 변동 폭을 가지고 시간에 따라 변하지만, 5/21(월), 8/25(금), 9/3(토) 같이 특정 시간에 큰 폭으로 변하기도 한다. 이 경우처럼 SMP가 시간대에 따라 크게 변하는 날의 경우 본 연구에서 제안하는 최적 운영으로 인한 수익 증대 효과는 다른 날들 보다 매우 클 것이다.

REC 가중치 5.0을 받기 위한 BESS충전시간 10시와 16시를 기준으로 10시 이전 시간대를 A구간, 10~16시 사이 시간대를 B구간(BESS충전구간), 16시 이후 시간대를 C구간(BESS방전구간)으로 정한다.

그림 4는 B구간과 C구간에 대한 2017년도 SMP의 최소/최대값의 변화를 보여준다. B구간에서 평균 4.78% 차이, C구간에서 평균 6.64% 차이로 SMP 변화가 있다.

2.2 기존방식의 일반 운영

10시 이전의 A구간에서는 PV발전 전력은 BESS를 거치지 않고 그대로 SMP가격을 반영하여 판매한다. 10~16시 사이의 B구간에는 BESS에 충전을 하고 충전이 완료되면 16시까지 SMP 판매를 한다. 16시 이후 C구간에서는 PV발전량의 SMP판매와

BESS에 충전된 전력의 동시 판매가 이루어진다. 이는 앞서 분석한 시간대별 SMP를 전혀 고려하지 않은 운영 방식으로 PCS 용량에 따라 한 시간 또는 두 시간 이내에 충전과 방전이 이뤄진다.

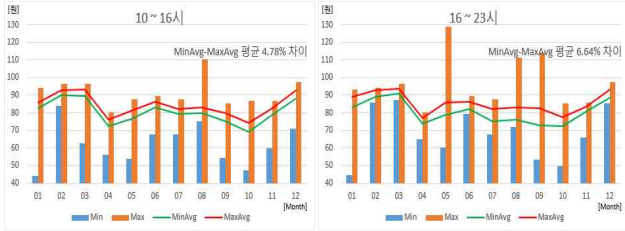


그림 4 2017년도 시간대별(B구간, C구간) SMP Min/Max 값 및 변동 폭
 Fig. 4 SMP Man/Max values and specific day changes by time zone in 2017 (time zone B and C)

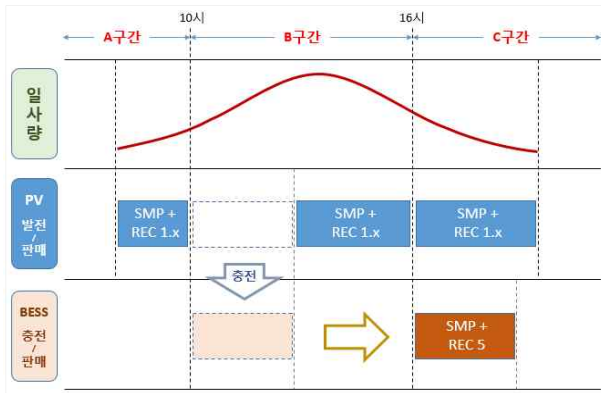


그림 5 구간별 일사량, PV 발전/판매, ESS 충전/판매
 Fig. 5 Irradiation, PV generation/sale, ESS charge /discharge by time zone

PV-BESS 시스템에서 REC 5.0을 얻기 위해서는 B구간에 PV로부터 발전된 전력을 BESS에 충전하고 C구간에서 BESS에 충전된 전력을 다시 방전하여 계통에 판매하여야 한다. BESS가 없는 PV발전소라면 SMP 판매 수익과 REC 1.x의 가중치만을 받을 수 있지만 BESS에 충전을 병행한다면 REC 5.0의 가중치를 받을 수 있다.

2.3 최적 운영 방법과 시뮬레이션

2.3.1 일사량 예측

태양광발전시스템의 에너지 생산량은 태양광 패널 표면에 입사한 태양에너지(일사량)에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 대기권 내에서 일사량에 영향을 주는 요소들은 시간에 따른 고도와 방위각 등 태양의 위치와 강수여부, 운량 등과 같은 기상상태 등이다.



그림 6 2017년도 광주지역 시간대별 평균 일사량
 Fig. 6 Average Irradiation by time zone in Gwangju in 2017

일사량의 예측은 태양광 발전 시스템의 생산량 예측에 필수적이다. 일사량 예측은 여러 가지 방법으로 연구가 되어 있고 [5],[6] 구글의 알파고와 같은 인공지능(AI)을 적용한다면 일사량 예측의 정확도가 상당한 수준에 이를 것으로 전망된다. 본 연구에서는 일사량예측에 관한 내용은 다루지 않으며, B구간에 대한 시뮬레이션은 일사량 예측을 전제로 한다.

2.3.2 최적 운영

일반 운영은 PV발전 시간중 REC 5.0이 적용을 위해 B구간, C구간에 순차적으로 BESS충전과 BESS방전을 한다. 최적 운영은 B구간에 SMP가 낮은 시간대에 BESS충전을 하고, SMP가 높은 시간대에는 SMP 판매를 한다. B구간에서 최적 운영을 하기 위해서는 BESS가 풀충전이 되어야 그 의미가 있다. C구간에는 최고의 수익을 확보하기 위해 SMP가 가장 높은 시간에 BESS방전을 한다. 최적 운영의 계약적인 순서도는 그림 7과 같다.

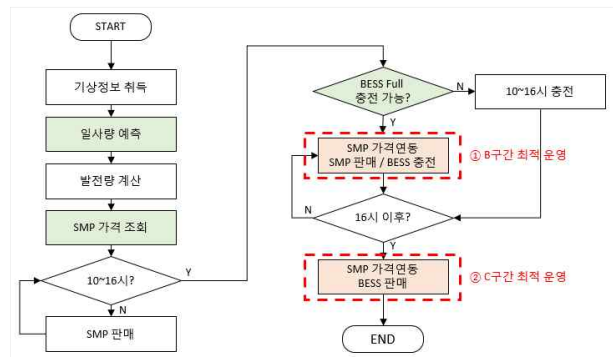


그림 7 최적 스케줄링 플로우차트
 Fig. 7 Optimal scheduling flowchart

B구간과 C구간에 대한 세부적인 방법은 아래와 같다.
 ① B구간 최적 운영
 - 예측된 일사량을 바탕으로 PV출력량 및 B구간의 BESS용량 풀 충전 가능여부 계산
 - 풀 충전가능한 날에 B구간 시간대별 SMP의 낮은 가격 순위 결정

- 시간대별 BESS 충전량 및 SMP 판매량 계산
 - 해당 시간대 BESS 충전 및 SMP 판매
 - 15시 시간대는 일사량 예측 오차 고려
- ② C구간 최적 운영
- C구간 시간대별 SMP의 높은 가격 순위 결정
 - 시간대별 BESS 판매량 계산
 - 현재 시간대가 SMP 순위 내에 있는 경우 BESS 판매
 - PV에서 발전된 전력은 별도로 SMP 판매

표 2 일반 운영과 최적 운영 차이

Table 2 Normal operation and optimal operation difference

구 간	시간대	일반 운영	최적 운영
A구간	00~09	BESS 충전 안함	
B구간	10~13	순차적 BESS 충전	SMP 고려 충전 시간대 결정
C구간	14~23	순차적 BESS 판매	SMP 고려 방전 시간대 결정

2.3.3 시뮬레이션 환경

PV, PCS 및 배터리의 특성과 효율은 제품마다 차이가 크므로 어떤 제품을 선택하느냐에 따라 결과가 바뀔 수 있다. 기존의 연구들은 시스템 내부에 부하가 존재하여 피크 저감과 부하 이동이 주목적이다. BESS의 충·방전 스케줄링 방법 및 PCS와 BESS의 용량은 경제성 평가를 통해 결정된다[7]~[12].

본 연구에서 사용된 PV-BESS 시스템은 부하와 연계하지 않고 독립된 시스템으로 부하가 없고 불필요한 환경변수를 완전히 배제함으로써 PV-BESS 연계 발전소에 적용하기 용이할 뿐만 아니라 향후 최적 운영 스케줄링을 적용하여 테스트가 가능하여 직관적인 검증할 수 있다.

PCS는 생산된 교류전력을 직류로 변환하여 배터리에 저장하고 저장된 직류전력을 교류로 변환하여 전력계통에 공급하는 역할을 하는 장치로서 PCS 용량에 따라 배터리의 충·방전 시간이 정해진다. ESS 충·방전 시간에 영향이 없도록 PCS용량을 배터리용량과 동일하게 하여 시뮬레이션을 한 후 적정 PCS용량 산정을 위하여 용량을 변경하였다. 분석을 위해 사용한 주요 장비의 제조사 제공 스펙과 용량은 표 3과 같다.

2.4 최적 운영 시뮬레이션 결과

그림 8은 2017년도 광주지역 일사량, REC, SMP 데이터로 시뮬레이션한 결과의 그래프이다. 일반 운영에서 BESS에 충전된 전력이 16시에 판매가 되지만 최적 운영에서는 16시부터 23시까지 골고루 분산되어 판매가 된다.

따라서, 최적 운영의 경우 태양광 발전과 상관없이 고가의 SMP에 전력을 판매할 수 있어 수익을 최대화 할 수 있다.

그림 9는 PCS용량이 0.3MW인 경우의 BESS 충전, BESS 판매, SMP 판매 변화를 볼 수 있다. 단위 시간내 처리할 수 있는 용량이 줄어들어 따라 각 분포가 여러 시간대에 걸쳐 분산된다.

표 3 주요 장비의 스펙과 용량

Table 3 Specifications and Capacity of Major Equipment

구 분	항 목	내 용
PV	제조사	한화큐셀
	모델명	HSL72P6-PC-5-320B
	셀면적	24.336m ²
	변환효율	16.30%
	모듈당 면적	1.810m ²
	총 용량	1MW
	총 모듈 수량	3,125EA
PCS	총 면적	5,656m ²
	총 용량	1MW
배터리	변환 효율	98.7%
	총 용량	1MWh
	충전 효율	96.0%
	방전 효율	96.0%
	충전까지 총 손실	9.71%
	방전까지 총 손실	9.71%
	DOD	90.0%

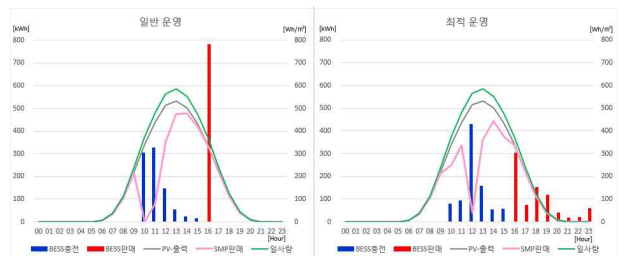


그림 8 PCS 1MW, 일반 운영과 최적 운영 비교

Fig. 8 PCS 1MW, normal operation vs. optimal operation

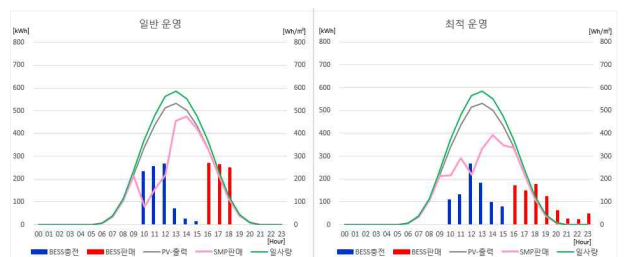


그림 9 PCS 0.3MW, 일반 운영과 최적 운영 비교

Fig. 9 PCS 0.3MW, normal operation vs. optimal operation

B구간에서 SMP 판매와 REC 판매를 통해 수익이 발생하지만, REC 판매단가와 판매용량의 변동이 없으므로 일반 운영과 최적 운영간 REC로 인한 수익 차이는 발생하지 않고, C구간에서의 수익은 SMP 판매, BESS 판매, REC 판매를 통해 발생하고 SMP와 REC의 판매단가와 판매량의 변동이 없으므로 두 운영간 REC로 인한 수익 차이는 발생하지 않는다. 따라서 운영 방식에 따른 수

표 4 일반 운영과 최적 운영 구간(시간대)별 수익 비교

Table 4 Comparison of profit by time zone between normal and optimal operation

구간	판매	수익		수익 변동	
		일반 운영 (원)	최적 운영 (원)	차이 (원)	증가율 (%)
B	SMP	53,846,044	54,312,512	466,468	0.87
C	BESS	23,916,921	24,383,255	466,334	1.95

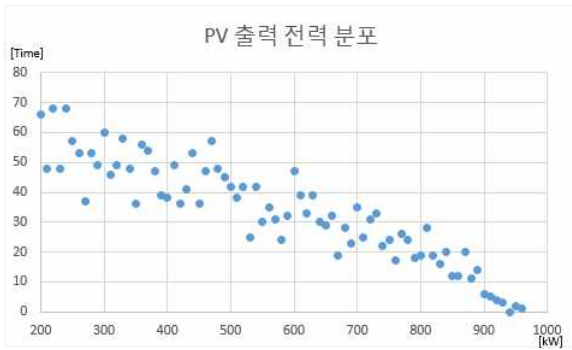


그림 10 PV출력 전력 분포 (200~1,000kW)

Fig. 10 PV output power distribution (200~1,000kW)

익 비교는 B구간에서는 SMP 판매 가격을 비교하였고, C구간에서는 BESS 판매 가격을 비교하였다.

시뮬레이션 결과 B구간, C구간의 수익 변동은 표 4와 같다. 두 구간간 수익 증가율 차이가 발생하는 것은 B구간에서는 SMP 판매량이 적고, C구간에서 SMP 가격이 더 큰 폭으로 변동하고 있다는 것을 의미한다. B, C 두 구간의 전체 수익 증가액은 932,802원, 수익 증가율은 1.20%이다.

2.5 PCS 와 배터리 용량 선정

2017년도 일사량 기준 시간당 최고 PV출력 전력은 960.54kW (2017년 5월 26일 13시)이다. 따라서 PCS용량을 960kW 이하로 설정할 경우 PV출력 전력량 대비 BESS에 충전할 수 있는 전력이 줄어드는 날이 발생하게 된다. PCS 용량은 PV출력량을 기준으로 결정되어진다. 또한, PCS용량에 따라 C구간에서 시간당 판매할 수 있는 BESS 충전 전력량이 정해지므로 용량에 따른 수익 변화 분석이 요구된다. 그림 10은 PV출력 전력 200~1,000kW에 대한 분포이다.

배터리 용량은 이용률과 경제성 분석을 고려해야한다. PV-BESS 시스템에서 REC 가중치가 아무리 높다고 하여도, 높은 초기 설치비용으로 전체 경제성이 낮다면 BESS 설치로 인한 전체 수익은 감소한다.

본 연구에서의 경제성 분석은 PV설치가 되어 있는 태양광 발전소에 BESS를 추가로 설치할 경우로 제한한다. PV 및 BESS의 설치 단가가 상황에 따라 편차가 크기 때문에 최소한의 변수만을

고려하여 경제성을 분석하고 BESS의 설치단가는 PCS 설치단가 40만원/kW, 배터리 설치단가 60만원/kWh 으로 가정한다[7].

2.5.1 적정 PCS 용량 선정

PCS 용량이 0.9MW, 0.8MW, 0.7MW, 0.6MW의 증가된 수익의 합은 각각 932,802원, 911,254원, 883,210원, 843,507원으로 0.6MW부터 수익 감소율이 점점 커진다. 0.7MW가 PCS 적정 용량이라고 판단되며 이 때 B구간 및 C구간에서 발생하는 수익의



그림 11 PCS 용량에 따른 구간별 수익 및 증가율

Fig. 11 Revenue and growth rates by time zone with PCS capacity

표 5 PCS 용량 변화에 따른 일반 운영과 최적 운영 연간 수익 비교

Table 5 Comparison of revenue between normal and optimal operation according to PCS capacity change

PCS 용량 (MW)	구간	판매	수익		수익 변화	
			일반 운영 (원)	최적 운영 (원)	차이 (원)	증가율 (%)
1.0	B	SMP	53,846,044	54,312,512	466,468	0.87
	C	ESS	23,916,921	24,383,255	466,334	1.95
0.9	B	SMP	53,846,044	54,312,512	466,468	0.87
	C	ESS	23,916,921	24,383,255	466,334	1.95
0.8	B	SMP	53,846,044	54,312,285	466,242	0.87
	C	ESS	23,918,019	24,363,032	445,012	1.86
0.7	B	SMP	53,846,044	54,305,384	459,340	0.85
	C	ESS	23,918,813	24,342,683	423,870	1.77
0.6	B	SMP	53,846,007	54,287,190	441,183	0.82
	C	ESS	23,919,532	24,321,856	402,324	1.68
0.5	B	SMP	53,848,196	54,258,867	410,670	0.76
	C	ESS	23,920,124	24,300,245	380,121	1.59
0.4	B	SMP	53,890,644	54,210,909	320,266	0.59
	C	ESS	23,922,755	24,259,842	337,087	1.41
0.3	B	SMP	53,974,428	54,142,995	168,567	0.31
	C	ESS	23,923,832	24,198,498	274,665	1.15
0.2	B	SMP	53,975,032	54,055,596	80,564	0.15
	C	ESS	23,855,213	24,012,610	157,397	0.66

증가율은 각각 0.85%와 1.77%이다.

2.5.2 이용률과 경제성을 고려한 배터리 용량 선정

PV 1MW 및 PCS 700kW 시뮬레이션 환경에서의 배터리 용량에 따른 이용률과 연간 풀 충전일 수는 표 6과 같이 용량이 작을수록 높다. 배터리 용량이 PV용량의 4배가 되는 4MWh의 경우 풀 충전일 수는 75일로 1년 중 20%에 해당하며 B구간에서의 최적 운영 방식을 75일에 반영할 수 있음을 의미한다. C구간에서의 최적 운영 방식은 배터리 풀 충전일 수와 무관하게 365일 반영이 가능하고 최적 운영 방식으로 인한 C구간의 추가 수익은 B구간의 추가 수익의 2~4배에 해당한다[표 5].

BESS가 없는 PV 단독 시스템의 연간 수익금은 약 296,907천원이다. 시뮬레이션 결과 BESS 설치에 따른 배터리 용량별 추가된 연간 수익과 경제성 평가는 표 6과 같다. (PCS 설치단가 40만원/kW, 배터리 설치단가 60만원/kWh, 유지보수율 2%, 할인율 5.5%, 기간 20년 적용)

표 6 배터리 용량에 따른 경제성 분석

Table 6 Economic analysis based on Battery capacity

배터리 용량 (MWh)	이용률 (%)	투자비 (천원)	연간 수익 (천원)	NPV (천원)
	풀 충전일 (일)	BCR (%)	IRR (%)	회수기간 (년차)
1.0	96.2	880,000	135,541	529,448
	326	1.49	6.18	10
1.5	92.6	1,180,000	195,586	875,300
	295	1.60	7.48	9
2.0	88.7	1,480,000	249,642	1,149,595
	267	1.63	7.80	9
2.5	84.0	1,780,000	295,531	1,326,278
	216	1.60	7.51	9
3.0	78.3	2,080,000	330,148	1,368,267
	160	1.53	6.71	10
3.5	72.4	2,380,000	356,277	1,308,809
	120	1.44	5.69	11
4.0	66.7	2,680,000	374,418	1,153,908
	75	1.35	4.53	12

배터리 용량이 3.0MWh일 때, BCR이 1.53%이고 수익금이 약 1,368,267천원으로 가장 높으며 회수기간은 10년차이다. 배터리 용량이 2.0MWh일 때, BCR이 1.63%로 회수기간은 9년이지만, 수익금은 약 1,149,595천원이다.

3. 결 론

본 연구는 PV와 BESS가 연계된 PV-BESS 시스템에서 SMP와 REC를 분석하여 REC 가중치 5.0 적용과 SMP 가격 변동에 따른 최적의 BESS 충·방전 스케줄링을 통해 수익을 최대로 끌어올리고, PCS와 배터리의 용량별 경제성 비교를 통하여 적정 용량을

산정하여 PV-BESS 시스템의 효율을 극대화 한다. REC 가중치 5.0을 부여받기 위한 BESS 충전 및 방전 시간을 기준으로 10시 이전의 A구간, 10와 16시 사이의 B구간(BESS충전구간), 16시 이후의 C구간(BESS방전구간) 시간대로 구분하여 각각의 시간대에 맞는 최대 수익을 위한 SMP 연동 최적 충·방전 스케줄링 방법을 제안한다. B구간에서의 최적 운영 스케줄링은 일사량 예측을 전제로 하고, 예측된 일사량을 참고로 BESS의 풀충전 여부를 판단한 후 구간내 SMP판매와 BESS충전 시간대를 스케줄링 한다. 2017년도의 광주지역 일사량, SMP 및 REC를 반영하여 시뮬레이션 한 결과 B구간과 C구간에서 각각 수익이 증가하였다. PV 1MW의 태양광 발전소에 SMP가격 연동 최적 운영 스케줄링 방법을 적용하여 경제성 평가한 결과 PCS 적정 용량은 700kW, 배터리 적정 용량은 3MWh으로 판단된다.

본 연구에서 제시하는 방법은 기존 설치된 PV 시스템에 BESS를 추가로 설치하거나 PV-BESS 시스템 전체를 신규로 설치하는 경우에 적용할 수 있으며, 기존 설치된 PV-BESS시스템에도 운영 소프트웨어에 최적 운영 스케줄링만을 반영하여 수익을 올릴 수 있다. 일반 운영에서 최적 운영으로 변경하는 것만으로도 수익 증가는 낮으나, PV패널의 발전 효율은 20% 안팎으로 매우 낮은 편이고 1%를 올리기 위한 연구에는 긴 시간과 많은 노력이 필요하므로, 그에 비하면 운영 소프트웨어 수정만으로 수익을 올릴 수 있으므로 효율이 높다고 할 수 있다.

References

- [1] 'Ministry of Trade, Industry & Energy', 'Korea Energy Agency', "2017 Energy Demand Management and New Regeneration Policy Presentation", 2017
- [2] 'Ministry of Trade, Industry & Energy', "Extension of installation of energy storage device (ESS) in solar power plant", 2016
- [3] 'Korea Energy Agency', 'INI R&C', "A Study on the Present State of Policies for Promoting ESS Expansion in Major Countries", 2017
- [4] 'Korea Power Exchange', <http://www.kpx.or.kr>
- [5] Min Hee Chung, "Modelling of Solar Irradiance Forecasting using Local Meteorological Data", *KIEAE Journal*, Vol. 17, No. 6, pp. 273-278, 2017
- [6] Dok-Ki Jo, Young-Heack Kang, "A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 4, pp. 15-21, 2010
- [7] Young-Min Wi, Hyung-Chul Jo, Jaehee Lee, "Economic Comparison of Wind Power Curtailment and ESS Operation for Mitigating Wind Power Forecasting Error", *KIEE Journal*, Vol. 67, No. 2, pp. 158-164, 2018
- [8] Jong-Seok Hong, Hui-Seok Chai, Jong-Fil Moon, "Calculation of ESS Capacity of Industrial Customer

- through Economic Analysis”, *KIEE Journal*, Vol. 64P, No. 4, pp. 273-276, 2015.
- [9] Hee-Sang Shin, Jae-Sun Hue, Sang-Yun Yun, “A Study on Sizing of Battery for Effective Operation of Stand-alone Renewable Generation System”, *KIEE Journal*, Vol. 67P, No. 1, pp. 15-20, 2018.
- [10] Seul-Ki Kim, Jong-Yul Kim, Kyeong-Hee Cho, Gil-Sung Byun, “Sizing and Economic Analysis of Battery Energy Storage System for Peak Shaving of High-Speed Railway Substations”, *KIEE Journal*, Vol. 63, No. 1, pp. 27-34, 2014.
- [11] Eun Kyoung Gong, Jin-Man Sohn, “An Analysis of Optimal Operation Strategy of ESS to Minimize Electricity Charge Using Octave”, *KAIS Journal*, Vol. 19, No. 4, pp. 85-92, 2018.
- [12] Wonjun Lee, Jaesung Jung, “Development of the Optimal Energy Storage System Charging/Discharging Scheduling Algorithm using Load and PV Generation Forecasting”, *KIEE Summer Conference*, 2017.

저 자 소 개



최 윤 석 (Yun Suk Choi)

2003년 경희대학교 전파공학과 졸업.
2003년 지어소프트(주) 주임연구원.
2004~2013년 팬택(주) 선임연구원.
2016년~현재 한전 전력연구원 연구원.
2017년~현재 전남대학교 전자컴퓨터 공학부 석사과정.

E-Mail : yghouse@gmail.com



나 승 유 (Seung You Na)

1977년 서울대학교 전자공학과 졸업.
1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사, 박사).
1987년~현재 전남대학교 전자컴퓨터 공학부 교수.

E-Mail : syna12@jnu.ac.kr