

# DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성 평가에 관한 연구

원종홍\*, 박동명\*, 박찬욱\*, 이수용\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:wonjher@daum.net

## A Study on the Economic Evaluation of ESS for Peak Shaving Considering DR

Jong-Heung Won\*, Dong-Myoung Park\*, Chan-Wook Park\*, Soo-Yong Lee\*, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

### 요약

최근, 신재생에너지원의 출력 안정화 및 피크 저감 등 다양한 기능을 수행하기 위하여 ESS의 설치가 증가하고 있다. 여기서, ESS의 투자비용은 고가임으로 투자비 회수에 대한 사전 계획단계에서 편익과 비용요소들에 대한 걱정만 검토가 선행되어야 하고, ESS의 설치 및 운용에 따른 수익성은 제도나 정책에 크게 의존되므로, 경제성에 대한 평가가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 수익창출의 극대화를 위해, 기존의 피크저감과 더불어 DR 참여를 고려한 ESS의 운용특성을 제시하고, 이를 바탕으로 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시한다. 구체적으로, 비용요소는 ESS 건설비용과 운용비용을 고려하고, 편익요소는 기본요금 절감, 전력량요금 절감, 특례 요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감, DR 참여에 의한 수익을 바탕으로 산정한다. 상기의 모델링을 바탕으로 DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성을 평가한 결과, 피크저감만 수행한 경우 ROI가 16.1년 정도로 산정되어 배터리의 수명을 초과하지만, DR에 적극적으로 참여함으로써 ROI를 5.7년 정도까지 단축시킬 수 있어 ESS의 경제성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

## 1. 서론

최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요자원 관리(DR) 및 주파수 조정(FR) 등 다양한 기능을 수행하기 위하여, 전기저장장치(ESS)의 설치가 매년 급격히 증가하고 있다. 또한, 수용가에서는 피크전력 저감을 통한 기본요금 절감 및 충·방전 시의 전력량요금의 차에 의한 편익 등, 경제적인 목적으로 ESS를 설치하여 운용하고 있다. 여기서, 수용가의 피크저감 시간대와 DR 발령 시간대가 중첩되는 경우, 피크저감과 DR을 동시에 수행함으로써 추가적인 수익을 기대할 수 있으며, 이러한 수익은 제도나 정책에 크게 의존되므로 경제성에 대한 평가가 선행되어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용특성을 제시하고, 이를 바탕으로 피크저감 및 DR 수행 정도에 따른 ESS의 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시한다. 여기서, 비용요소는 ESS의 건설비용, 운용비용으로 구성되며, 편익요소는 ESS의 피크저감 효과에 의한 기본요금 절감, 전력량요금

절감, 특례 요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감을 고려한다. 상기의 모델링을 바탕으로 피크저감과 DR 수행 정도에 따른 경제성을 평가한 결과, 피크저감만 100% 수행한 경우, ROI가 16.1년 정도로 산정되어 ESS의 수명을 초과하지만, DR에 적극적으로 참여함으로써 ROI를 5.7년 정도까지 단축시킬 수 있어, ESS의 경제성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

## 2. DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용 특성

### 2.1 피크저감용 ESS의 운용특성

ESS는 크게 전력을 저장하는 배터리부, 교류와 직류를 상호 변환하는 전력변환장치부(power conditioning system, PCS)와 모니터링 및 제어를 담당하는 전력관리 시스템(power management system, PMS), 등으로 구성된다. ESS의 용도는 신재생연계용, 피크저감용, 주파수 조정용, 등으로 분류된다. 본 논문은 피크저감용 ESS를 대상으로 하고, 표 1과 같이 사계절을 통하여 경부하 시간대에 충전하고, 최대부

하 시간대이고 동시에 피크가 발생하는 시간대에 방전하여, 대상 수용가가 ESS에 의한 피크저감 효과를 최대화한다. 이를 통해 얻는 편익은 기본요금 절감, 전력량요금 절감, 특례요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감 등의 요소로 구성된다.

[표 1] 계절별 전력요금 정산표

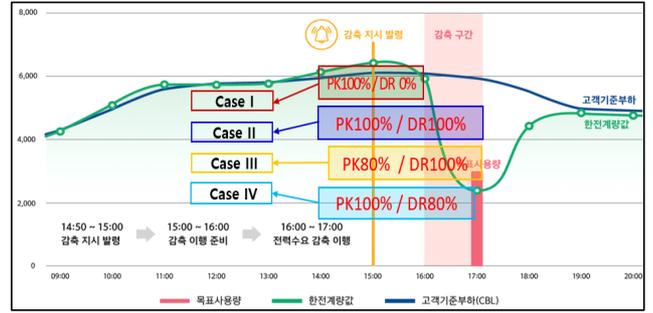
구분	여름철	봄, 가을철	겨울철
	6~8월	3~5월, 9~10월	11~2월
경부하 시간대	23~09	23~09	23~09
중간부하 시간대	09~10	09~10	09~10
	12~13	12~13	12~17
	17~23	17~23	20~22
최대부하 시간대	10~12	10~12	10~12
	13~17	13~17	17~20
			22~23

### 2.2 DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용특성

DR 제도는 전력사용 감축 의무를 사전에 계약한 수용가가 전력거래소의 지시를 받아 수요자원 감축을 통하여 전력소비 절감에 의한 인센티브를 받는 것으로서, 기본정산금과 실적정산금으로 구성된다. 또한, DR에 참여한 수용가는 자발적 수요감축에 참여할 경우, 고정 기본정산금과 의무감축 실적금 뿐만 아니라, 차등 기본정산금과 자발적 실적금을 추가로 받을 수 있다. 한편, DR은 수용가의 전력소비를 감축하는 방법 외에도 ESS의 방전을 통해 수행할 수 있어, 피크저감용 ESS가 설치된 수용가의 경우 DR에 적극적으로 참여하여 경제성을 확보할 수 있다.

하지만, 수용가의 피크저감 실행을 위하여 ESS의 방전을 수행하면 DR 발령 시 ESS의 충전시간의 미확보로 즉시 DR에 대응하지 못하는 제약이 있다. 이것은 기본정산금의 차감은 물론, 계약위반 누적 시 거래정지까지 이를 수 있는 문제점이 발생할 가능성이 있는데, 이를 개념도로 나타내면 그림 1과 같다. 여기서, 그림 1의 Case I 은 피크저감 후 DR이 발령되어 피크저감만을 수행한 경우이며, Case II 는 가장 경제적인 운용전략으로 피크저감 실행시간대와 DR 발령 시간대가 일치하여 동시에 수행 가능한 것을 나타낸다.

또한, Case III, IV는 피크저감을 실행한 후 DR에 대한 지시를 발령받아 각각 피크저감 80%, DR 80%씩 부분적으로 수행하는 경우를 나타낸다. 따라서, 본 논문에서는 DR과 피크저감을 고려한 ESS의 운용 알고리즘을 제시하고, 이를 바탕으로 현재가치 환산법과 원금 균등 상환방식을 이용한 경제성 평가 모델링을 수행하여, DR과 피크저감 수행에 따른 편익과 손익분기점을 제시하고자 한다.



[그림 1] 피크저감 및 DR 운용 개념도

## 3. DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성 평가 모델링

### 3.1 비용요소 모델링

ESS의 건설비용은 ESS를 설치하는데 지출되는 총 비용으로서, 식 (1)과 같이 PCS와 배터리 시스템의 도입비용에 대하여 MW 및 MWh 설치용량을 곱하여 산정한다. 또한, ESS의 공사비는 PCS 및 배터리 시스템의 비용에 일정비율을 적용하는 것으로 산정한다.

$$C_{ess} = (C_{pcs} \cdot Q_{pcs} + C_{batt} \cdot Q_{batt}) \cdot (1 + r_{con}) \quad (1)$$

여기서,  $C_{ess}$  : ESS의 총 건설비용(원),  $C_{pcs}$  : PCS의 도입비용(원/MW),  $Q_{pcs}$  : PCS의 설치용량(MW),  $C_{batt}$  : 배터리 시스템의 도입비용(원/MWh),  $Q_{batt}$  : 배터리 시스템의 설치용량(MWh),  $r_{con}$  : ESS의 공사비 비율(%)

운영비용은 ESS를 운영할 때 발생하는 유지보수 비용으로서, 식 (2)와 같이 ESS의 건설비용과 총비용에 일정 값을 곱하며, 물가상승률을 평가연도별로 반영하여 산정한다.

$$C_{oper} = \sum_{i=1}^n [C_{ess} \cdot r_{oper} \cdot (1 + r_{inf}(i))^{i-1}] \quad (2)$$

여기서,  $C_{oper}$  : 총 운영비용[원],  $r_{oper}$  : 운영비 적용비율[%],  $r_{inf}(i)$  : 물가상승률[%]

### 3.2 편익요소 모델링

기본요금 절감은 ESS의 피크저감 효과에 의한 수용가의 최대수요전력의 감소로 발생하는 편익으로서, 식 (3)과 같이 ESS가 도입되기 전의 수용가의 피크전력과 ESS 도입 이후의 피크전력 차이에 기본요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{base} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h [(P_{peak}(i, j, k) - P_{with\ ess}(i, j, k)) \cdot C_{base}(i)] \quad (3)$$

시간과 SMP를 곱하여 편익을 산정한다.

여기서,  $B_{base}$  : 기본요금 절감에 의한 편익요금(원),  $P_{peak}(i, j, k)$  : 수용가 피크전력(kW),  $P_{withess}(i, j, k)$  : ESS의 피크저감 효과에 의해 감소된 수용가 피크전력(kW),  $C_{base}(i)$  : 기본요금(원/kW),  $j$  : 경제성 평가 일,  $d$  : 일 단위 기간(365 일),  $k$  : 경제성 평가 시간,  $h$  : 시간 단위 기간(24시간)

$$B_{DR} = B_{fix} + B_{ob} + B_{diff} + B_{vol} \quad (7)$$

$$B_{fix} = C_{red} \times P_{ann} \quad (8)$$

$$B_{ob} = C_{red} \times t_{red} \times SMP \quad (9)$$

$$B_{diff} = C_{red} \times P_{ann} \quad (10)$$

$$B_{vol} = C_{bid} \times t_{bid} \times SMP \quad (11)$$

ESS의 운용에 따른 전력량요금 절감에 의한 편익은 상대적으로 요금이 저렴한 경부하 시간대에 ESS를 충전하고, 요금이 높은 최대부하 시간대에 방전함으로써 발생하는 차액으로, 식 (4)와 같이 ESS가 도입되기 전의 수용가의 시간대별 사용 전력량과 ESS 도입 이후 충·방전 운전에 의해 변동된 수용가의 시간대별 사용 전력량의 차이에 전력량요금을 곱하여 산정한다.

여기서,  $B_{DR}$  : 수요자원 거래시장 참여 수익(원),  $B_{fix}$  : 고정기본정산금(원),  $B_{ob}$  : 의무감축 실적금(원),  $B_{diff, bas}$  : 차등기본정산금(원),  $B_{vol}$  : 자발적 실적금(원),  $C_{reduction}$  : 의무감축용량(kw),  $t_{reduction}$  : 감축시간,  $P_{annual, bas}$  : 연간기본정산금 단가(원/kw),  $C_{bid}$  : 낙찰용량,  $t_{bid}$  : 낙찰시간

$$B_{usage} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h [(P_{kuh}(i, j, k) - P_{kuhwithess}(i, j, k)) \cdot C_{elec}(i, j, k)] \quad (4)$$

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

여기서,  $B_{usage}$  : 전력량요금 절감에 의한 편익요금(원),  $d_{oper}$  : ESS의 연간 운용일 수,  $P_{kuh}(i, j, k)$  : 수용가의 사용 전력량(kWh),  $P_{kuhwithess}(i, j, k)$  : ESS의 충·방전운전에 의한 수용가의 사용 전력량(kWh),  $C_{elec}(i, j, k)$  : 전력량요금(원/kWh)

##### 4.1 시뮬레이션 조건

전력산업기반기금 및 부가가치세 절감은 ESS의 피크저감에 의한 기본요금 절감분과 계시별 요금제를 이용한 차익거래를 통한 전력량요금 절감분을 포함한 수용가 전기요금 절감액 및 특례 요금제에 의한 전기요금 할인금액에 대하여, 식 (5), 식 (6)과 같이 전력산업기반기금(3.7%)과 부가가치세(10%)의 정해진 비율만큼 각각 절감된다.

DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성 평가에 대한 시뮬레이션 조건은 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 피크저감용 ESS의 용량은 1[MW]/2[MWh]로 상정하고, 대출 상환 기간은 20년, 이자율과 할인율은 각각 4.29%, 5.5%로 상정한다. 또한, PCS 및 배터리의 교체 시기는 각각 15년, 10년을 고려하며, 운영비는 2.5%로 상정한다. 한편, 경제성 평가를 수행하기 위한 대상 수용가는 그림 2와 같이 석탄/원유 및 천연가스 광업산업의 평균 전력소비 일부하 패턴을 상정한다. 여기서, 계약용량은 17,289[kW], 계약종별은 ‘일반용(을) 고압A 선택(Ⅱ)’, 기본요금 단가는 8,320[원/kW]로 적용한다. 또한, ESS의 충·방전 운용패턴은 사계절 동안 경부하 시간대인 0시~3시에 충전하고, 피크가 발생하는 10시~12시에 방전한다.

$$B_{fund} = (B_{kW} + B_{kWh} + B_{dis}) \cdot r_{fund} \quad (5)$$

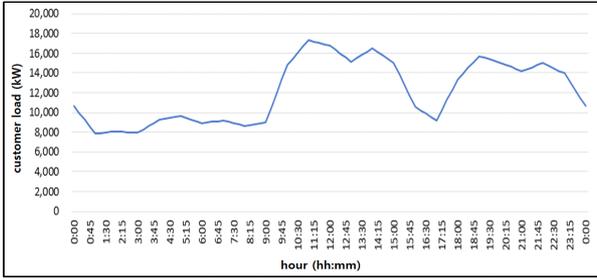
$$B_{tax} = (B_{kW} + B_{kWh} + B_{dis}) \cdot r_{tax} \quad (6)$$

[표 2] 시뮬레이션 조건

여기서,  $B_{fund}$  : 전력산업기반기금 절감에 의한 편익요금 [원],  $r_{fund}$  : 전력산업기반기금 비율[%],  $B_{tax}$  : 부가가치세 절감에 의한 편익요금[원],  $r_{tax}$  : 부가가치세 비율[%]

항목	내역
피크저감 ESS의 용량 [MWh]	2
PCS 용량 [MW]	1
대출 상환기간 [년]	20
이자율 [%]	4.29
할인율 [%]	5.5
PCS 사용기간 [년]	15
배터리 사용기간 [년]	10
상환방식	원금균등상환
SMP [원/kWh]	167
운영비 [%]	2.5

수요자원 거래시장의 참여수익은 식 (7)과 같이, 고정기본정산금, 의무감축 실적금, 차등기본정산금, 자발적 실적금으로 구성된다. 여기서, 고정기본정산금은 식 (8)과 같이, 의무감축 용량과 연간 기본정산금 단가를 곱하여 산정하며, 의무감축 실적금은 식 (9)와 같이, 연간 기본정산금 단가와 감축 시간에 SMP를 곱하여 산정한다. 또한, 차등기본 정산금은 식 (10)과 같이, 의무감축 용량과 연간 기본정산금 단가와 곱하여 산정하며, 자발적 실적금은 식 (11)과 같이, 낙찰용량, 낙찰



[그림 2] 대상 수용가의 부하수요 일일 패턴

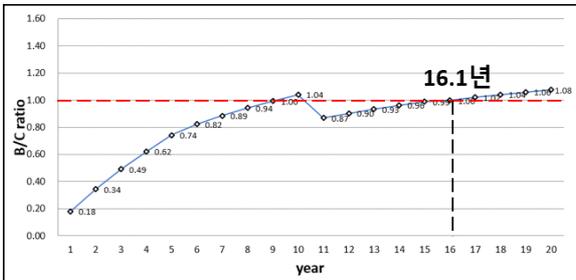
한편, DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성을 평가하기 위하여, 표 3과 같이 피크부하 저감률 및 DR 참여율에 따른 시나리오를 상정한다. 여기서, Case I ~ Case IV는 수용가의 피크저감을 100% 수행하고, 피크저감과 DR 발령 시간대가 중첩됨에 따라 DR 참여율이 각각 0%, 80%, 90%, 100%인 경우를 나타낸다.

[표 3] 경제성 평가 시나리오

상정 시나리오	피크 저감률	DR 참여율
Case I	100%	0%
Case II		80%
Case III		90%
Case IV		100%

#### 4.2 DR 참여율에 따른 경제성 평가

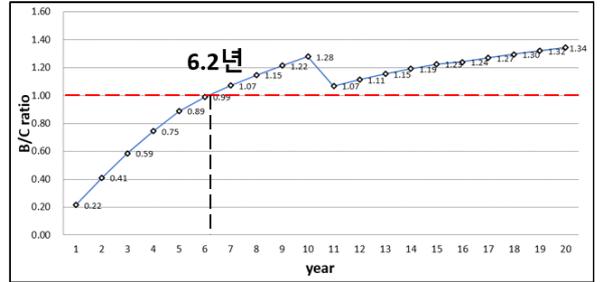
상기에서 제시한 운용방안 및 경제성 평가 조건을 바탕으로, DR을 고려하지 않고 피크저감만을 수행한 Case I의 경제성을 평가하면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 피크저감에 의한 연간 편익은 141,945[천원]으로 산정되고, ROI가 배터리 수명시간을 초과하는 16.1년 정도이므로, 피크저감만을 수행하는 경우 ESS의 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다.



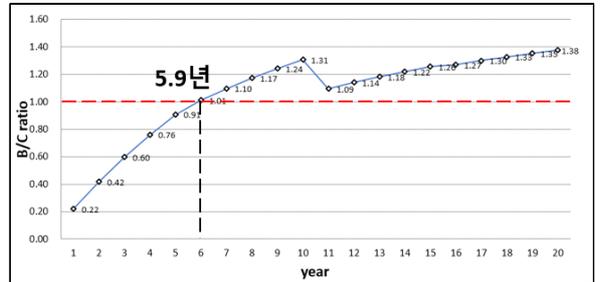
[그림 3] 피크저감용 ESS의 경제성 평가 (Case I)

한편, 피크 저감을 100% 수행하고, DR 발령과 중첩되는 시간에 따라 80% 이상 DR에 참여한 Case II의 경제성을 평가하면 그림 5-3과 같다. 여기서, 피크저감 시간대와 DR 발령 시간대가 일부 중첩되어 DR의 최소 참여율인 80%를 수행한 경우, ROI가 6.2년 정도로 산정되어 피크저감 만을 고려한 경우보다 ESS의 경제성을 크게 확보할 수 있음을 알 수 있다.

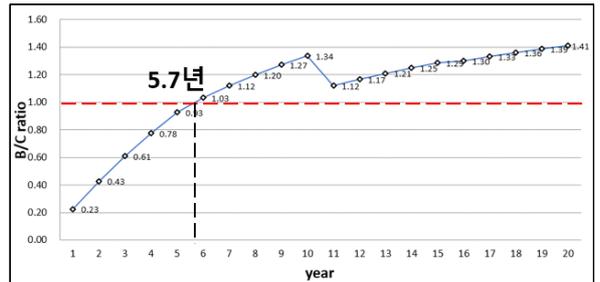
또한, 그림 5-4와 같이 피크저감을 100%, DR을 90% 수행한 Case III의 경우 ROI가 5.9년 정도로 산정되고, 그림 5-5와 같이 피크저감 시간대와 DR 발령 시간이 완전히 중첩되는 Case IV의 경우, ROI가 5.7년 정도까지 단축됨을 알 수 있다. 따라서, 피크저감을 우선적으로 수행하는 동시에 DR에 적극적으로 참여함으로써, 배터리 교체비용이 발생하기 전에 원금 회수가 가능하여, ESS의 사업 타당성 측면에서 경제성이 있음을 알 수 있다.



[그림 4] 피크저감용 ESS의 경제성 평가(Case II)



[그림 5] 피크저감용 ESS의 경제성 평가(Case III)



[그림 6] 피크저감용 ESS의 경제성 평가(Case IV)

## 5. 결 론

본 논문에서는 ESS의 수익창출의 극대화를 위해, 기존의 피크저감과 더불어 DR 참여를 고려한 ESS의 운용특성을 제시하고, 이를 바탕으로 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시한다. 상기의 모델링을 바탕으로 DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성을 평가한 결과, 피크저감만 수행한 경우 ROI가 16.1년 정도로 산정되어 배터리의 수명을 초과하지만, DR에 적극적으로 참여함으로써 ROI를 5.7년 정도까지 단축시킬 수 있어 ESS의 경제성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.