

DR과 피크저감 운용전략을 고려한 ESS의 경제성 평가에 관한 연구

원종홍, 신건, 전진택, 최성문, 노대석
한국기술교육대학교 전기공학과
e-mail:wonjher@daum.net

A Study on Economic Evaluation of ESS Depending on DR and Peak Shaving

Jong-Heung Won, Jian Shen, Jin-Teak Jeon, Sung-Moon Choi and Dae-Seok Rho
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

최근, 전 세계적으로 신재생에너지원의 계통연계 안정화 및 피크저감용으로 ESS(energy storage system)의 설치가 매년 급증하고 있다. 여기서, ESS의 투자비용은 고가임으로 투자비 회수에 대한 사전 계획단계에서 편익과 비용요소들에 대한 면밀한 이해와 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, 피크저감 및 DR 참여를 고려하고, 이에 따른 운용 전략을 제시한다. 또한, 일반 수용가에 많이 설치 운용 중에 있는 피크저감용 ESS를 대상으로 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 평가 모델링과 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 제시한다. 상기의 모델링을 바탕으로 DR을 고려한 피크저감용 ESS에서 DR과 피크저감에 대한 수행도에 따른 경제성을 평가한 결과, 피크저감을 우선적으로 수행하는 것이 더 경제적임을 알 수 있고, DR의 계약감축량의 80%를 3번 이상 이행하지 않을 경우, DR에서 배제되어 참여할 수 없으므로, 2번째 DR부터는 DR을 80% 이상 수행해야 경제적임을 알 수 있었다.

1. 서론

최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 전기저장장치(energy storage system, ESS)의 설치가 매년 급격히 증가하고 있다. 본 논문에서는 일반 수용가에 많이 설치하여 운용 중에 있는 피크저감용 ESS를 바탕으로, ESS의 충방전 시간대별 그 운용 특성과 수요자원 거래시장(Demand Response, DR)참여 시 요구되는 ESS의 운용 전략을 통해 피크저감 실행 후, 즉 방전상태에서 신뢰성 DR발령에 따른 수행 시 케이스별 현상을 분석해본 결과, 피크저감과 DR참여의 중복에 따른 제약 및 수익의 일정부분 감소도 있음으로 나타났다. ESS의 도입 및 운용의 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시한다. 여기서, 비용요소는 ESS의 건설비용, 운용비용으로 구성되며, 편익요소로는 ESS의 피크저감 효과에 의한 기본요금 절감, 전력량요금 절감, 특례 요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감을 고려한다. 상기의 모델링을 바탕으로 DR을 고려한 피크저감용 ESS에서 DR과 피크저감에 대한 수행 정도에 따른 경제성을 평가한 결과, 피크저감을 우선적으로 수행하는 것이 더 경제적임을 알 수 있고, DR의 계약감축량

의 80%를 3번 이상 이행하지 않을 경우, DR에서 배제되어 참여할 수 없으므로, 2번째 DR부터는 DR을 80% 이상 수행해야 경제적임을 알 수 있다.

2. DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용특성

2.1 피크저감용 ESS의 운용 전략

ESS는 크게 전력저장의 배터리, 교류와 직류를 상호 변환하는 전력변환장치(Power Conditioning System, PCS)와 PCS상태 모니터링 및 제어를 담당하는 전력관리 시스템(Power Management System, PMS), PMS로 구성된다. ESS 솔루션의 기능은 신재생연계(RI), 피크저감(PS), 피크저감+비상발전기 대체, 계통의 주파수 대응(FR)을 들 수 있다. 본 논문의 ESS 설비용량은 1MW/2MWh로, 충·방전 운용패턴은 그림 1처럼 사계절 동안 경부하 시간대인 1시~3시에 충전하고, 최대부하 시간대이고 동시에 피크가 발생하는 10시~12시에 방전하여, 대상 수용가가 ESS에 의한 피크저감에 의한 효과를 최대화한다. 이를 통해 얻는 편익요소로는 DR참여로

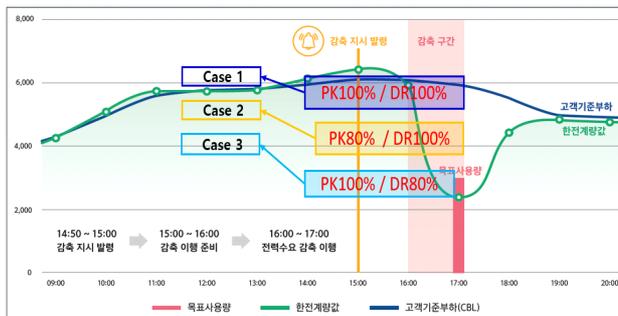
얻는 수익을 포함한 ESS의 피크저감효과에 의한 기본요금 절감, 전력량요금 절감, 특례 요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감을 고려한다.



[그림 1] 시간대별 충방전 패턴

2.2 DR 을 고려한 피크저감용 ESS의 운용 전략

DR제도는 전력사용 감축 의무를 사전에 계약한 수용가가 전력거래소의 지시를 받아 ESS의 운용을 통해 수요자원 감축을 통하여 전력소비 절감에 따라 받게 되는 인센티브로서, 기본정산금과 실적정산금으로 구성된다. 여기서, DR에 참여한 수용가는 자발적 수요감축에 참여할 경우, 고정기본정산금과 의무감축 실적금 뿐만 아니라, 차등기본정산금과 자발적 실적금을 추가적으로 받을 수 있다. 하지만, 피크저감 실행 방전 후 신뢰성 DR발령 시 충전시간의 미확보로 즉시 부응하지 못하는 제약이 있다. 이것은 기본정산금의 차감은 물론 계약위반 누적 시 거래정지까지 이를 수 있는 문제가 있는데, 이를 개념도로 나타내면 그림 2와 같다. 여기서, Case 1은 피크저감 실행시간과 DR발령 시간의 일치로 동시에 수행가능하고, Case 2, 3은 피크저감을 실행 후 지시를 발령받아 DR을 부분적으로 수행하는 경우를 나타낸다.



[그림 2] 피크저감 및 DR 운용 개념도

3. DR을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성 평가 모델링

3.1 비용요소 모델링

(1) ESS 건설비용

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(%)

(2) 운영비용

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

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

여기서, C_{oper} : 총 운영비용(원), r_{oper} : 운영비 적용비율(%), $r_{inflation}(i)$: 물가상승률(%), i : 경제성 평가년도, n : 최종 평가년도

3.2 편익요소 모델링

(1) 기본요금 절감

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.

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

여기서, B_{base} : 기본요금 절감에 의한 편익요금(원), $P_{peak}(i,j,k)$: 수용가 피크전력(kW), $P_{with\ ess}(i,j,k)$: 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)

(2) 전력량요금 절감

ESS의 운용에 따른 전력량요금 절감에 의한 편익은 상대적으로 요금이 저렴한 경우하 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.

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

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

(3) 특례 요금제에 의한 기본요금 할인

한전에서 시행중인 특례요금제는 전력량요금 할인과 기본요금 할인으로 구성된다. 먼저, 전력량요금 할인은 경부하시간대 ESS 충전 시 전력량 요금의 50%만큼 할인해주는 제도로, 2021년 01월 01일 이후로는 일몰되어 할인금액을 정산 받을 수 없다. 또한, 기본요금 할인은 식 (5)과 같이 일일 평균최대수요전력 감축량으로 2020년 12월 31일까지 피크감축 추정량에 해당하는 기본요금의 3배만큼 할인해 주었으나, 2021년 01월01부터 2026년 03월31일까지는 기본요금의 1배만큼만 적용된다.

$$B_{discount} = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m [P_{reduction}(i,l) \cdot C_{base}(i)] \quad (5)$$

여기서, $B_{discount}$: 기본요금 할인에 의한 편익요금(원), $P_{reduction}(i,l)$: 월평균 최대수요전력 감축량(kW), $C_{base}(i)$: 기본요금(원/kW), l : 경제성 평가 월, m : 월 단위 기간(12개월)

(4) 전력산업기반기금 및 부가가치세 절감

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 (6)과 식 (7)과 같이 전력산업기반기금(3.7%)과 부가가치세(10%)의 정해진 비율만큼 각각 절감된다.

$$B_{fund} = (B_{base} + B_{usage} + B_{discount}) \cdot r_{fund} \quad (6)$$

$$B_{tax} = (B_{base} + B_{usage} + B_{discount}) \cdot r_{tax} \quad (7)$$

여기서, B_{fund} : 전력산업기반기금 절감에 의한 편익요금(원), r_{fund} : 전력산업기반기금 비율(3.7%), B_{tax} : 부가가치세 절감에 의한 편익요금(원), r_{tax} : 부가가치세 비율(10%)

(5) DR참여에 따른 수익

DR에 참여한 수용가는 자발적 수요감축에 참여할 경우, 고정기본정산금과 의무감축 실적금 뿐만 아니라, 차등기본정산금과 자발적 실적금을 추가적으로 받을 수 있다. 상기의 편익요소에 의한 DR 참여를 고려한 ESS의 총 편익은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{DR} = B_{fix} + B_{ob} + B_{diff,bas} + B_{vol} \quad (8)$$

$$B_{DR} = C_{reduction} \times P_{annual,bas}$$

$$B_{ob} = C_{reduction} \times t_{reduction} \times SMP$$

$$B_{diff,bas} = C_{reduction} \times P_{annual,bas}$$

$$B_{vol} = C_{bia} \times t_{bia} \times SMP$$

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_{bia} : 낙찰용량, t_{bia} : 낙찰시간

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

제한한 모델링을 바탕으로 피크저감용 ESS의 경제성을 평가하기 위한 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, ESS의 설치비용은 15년 동안 원금을 균등 상환하는 것으로 가정하며, 은행에서 차입하는 이자율은 4.29%, 연간 운용비는 ESS의 투자비의 2.5%, 할인율은 5.5%로 설정한다. 또한, 경제성 평가를 수행하기 위한 대상 수용가는 그림 3과 같이 석탄/원유 및 천연가스 광업의 일일 평균 전력소비 패턴을 설정한다.

[표 1] 경제성평가 조건

항 목	내 역
대출 상환기간	15년
이자율	4.29%
할인율	5.5%
ESS 수명	15년
상환방식	원금균등상환
SMP	107원/kWh
운용비	2.5%



[그림 3] 대상 수용가의 부하수요 일일 패턴

한편, 본 논문에서는 수용가가 피크 저감과 DR을 동시에 수행함에 있어서, 여러 가지 경우에 대한 경제성 평가를 수행하기 위하여, 표 2와 같이 DR과 피크저감의 수행 정도에 따라 Case를 나누어 시뮬레이션을 수행한다.

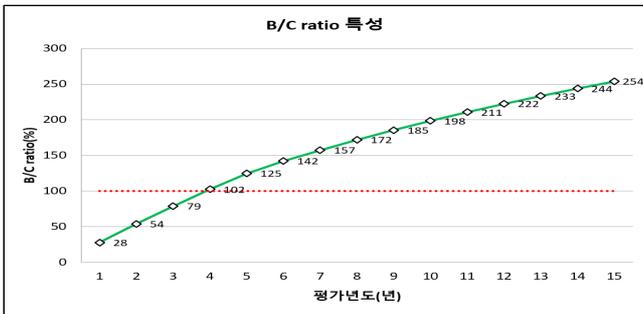
[표 1] 신뢰성 RD 발령 시나리오별 예상

Case	DR	피크 저감
Case 1	100%	100%
Case 2	100%	80%
Case 3	80%	100%

Case 2,3은 피크저감 수행 후 충전시간의 부족에서 야기됨.

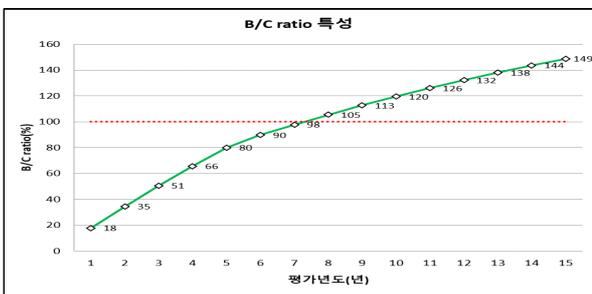
4.2 DR참여를 고려한 피크 저감용 ESS의 운용 특성

상기의 경제성평가 조건을 바탕으로, DR과 피크저감의 수행 정도에 따라 Case를 나누어 경제성 평가를 수행한다. 여기서, Case 1은 DR과 피크 저감이 동일 시간대에 발생하여, 모두 100% 수행한 경우이다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 그림 4와 같이 1년에 ROI에 도달하여 ESS의 사업 타당성 측면에서 경제성이 있음을 알 수 있다. 여기서, 피크 저감에 의한 전기요금 절약금액은 매년 129,091[천원]이고, DR을 통한 연간 총 편익은 57,480[천원]이므로, 매년 186,571[천원]의 편익이 발생하는 것을 알 수 있다.



[그림 4] Case 1에 대한 ROI 평가

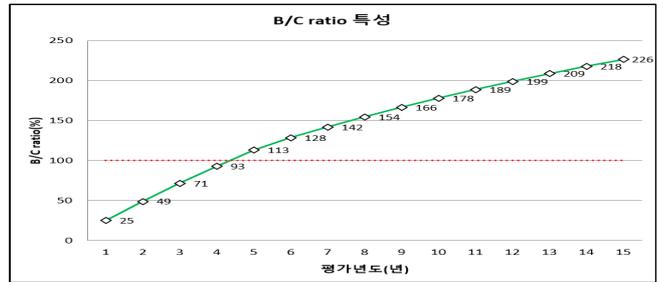
또한, DR을 100% 수행하고, 피크저감을 80% 수행한 Case 2에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 그림 5와 같이 손익분기점이 약 7.5년에 발생하므로 ESS에 대한 교체비용이 발생하기 전에 원금회수가 가능한 것을 알 수 있다. 여기서, DR에 의한 편익은 여전히 매년 57,480[천원]이 발생하지만, 피크저감에 의한 편익은 40,934[천원]으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이때의 연간 전체 편익은 98,414[천원]이 발생하여, Case 1보다 매년 88,157[천원]의 손실이 발생함을 알 수 있다.



[그림 5] Case 2에 대한 ROI 평가

한편, DR을 80% 수행하고, 피크저감을 100% 수행한 Case 3에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 그림 6과 같이 손익분기점이 약 4.5년에 발생하므로 ESS에 대한 교체비용이 발생하기 전에 원금 회수가 가능한 것을 알 수 있고, Case 2에 비하여 더 일찍 ROI에 도달하는 것을 확인하였다. 여기서, 피크

저감에 의한 편익은 여전히 매년 129,091[천원]이 발생하지만, DR에 의한 편익은 34,488[천원]으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이때의 연간 전체 편익은 163,579[천원]이 발생하여, Case 1보다 매년 22,992[천원]의 손실이 발생하고, Case 2보다 75,422[천원]의 편익이 발생함을 알 수 있다. 따라서, 피크저감과 DR이 동시간대에 발생하지 않을 경우, DR보다 피크저감을 우선적으로 수행하는 것이 더 경제적임을 알 수 있다. 하지만, DR의 계약감축량의 80%를 3번 이상 이행하지 않을 경우, 향후 6개월은 입찰에 참여할 수 없으므로, 2번째 DR부터는 DR을 80% 이상 수행해야 경제적임을 알 수 있다.



[그림 6] Case 3에 대한 ROI 평가

5. 결론

본 논문은 일반 수용가에 많이 설치 운용중에 있는 피크저감용 ESS를 대상으로 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 평가 모델링과 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 제시하고, 이를 바탕으로 DR을 고려한 피크저감용 ESS에서 DR과 피크저감에 대한 수행 정도에 따른 경제성을 평가한 결과, 피크저감을 우선적으로 수행하는 것이 더 경제적임을 알 수 있고, DR의 계약감축량의 80%를 3번 이상 이행하지 않을 경우, DR에서 배제되어 참여할 수 없으므로, 2번째 DR부터는 DR을 80% 이상 수행해야 경제적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No. 20213030160080 & No. 20214910100010)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Byung O Kang, Byung Guk Hwang, Kyoan Kwon, Jaesung Jung, "Operational Strategy of Energy Storage System (ESS) to Participate in Demand Response(DR) Market for Industrial Customer", New & Renewable Energy, Vol. 13, No. 2, 2017. 6.