

# DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용 전략에 관한 연구

원종홍, 이명근, 곽충근, 전진택, 노대석  
한국기술교육대학교 전기공학과  
e-mail:wonjher@daum.net

## A Study on the Operation Strategy of ESS for Peak Shaving Considering DR

Jong-Heung Won, Myung-geun Lee, Chung-Guen Kwak, Jin-Taek Jeon 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 운용전략 및 운용 모델링을 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 ESS의 경제성을 평가한 결과, DR 참여 시 투자비 회수년도(ROI)가 획기적으로 감소하여, 피크저감용 ESS가 상당 부분 타당성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

## 1. 서론

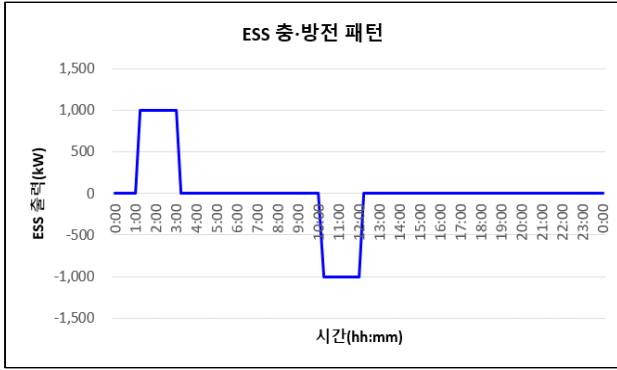
최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 전기저장장치(energy storage system, ESS)의 설치가 매년 급격히 증가하고 있다. 본 논문에서는 일반 수용가에 많이 설치하여 운용 중에 있는 피크저감용 ESS를 바탕으로, ESS의 충방전 시간대별 그 특성과 수요자원 거래시장(Demand Response, DR)참여 시 요구되는 ESS의 운용 전략을 통해 피크저감 실행 후, 즉 방전상태에서 신뢰성 DR발령에 따른 수행 시 케이스별 현상을 분석해본 결과, 피크저감과 DR참여의 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. 제안한 경제성 평가 모델링을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 이용하여 ESS의 도입비용과 구성품 비용을 케이스별로 경제성을 평가한 결과, ESS의 도입비용은 여전히 수용가로 하여금 경제적이지 않음을 알 수 있었다, 하지만, DR 참여를 통한 추가적인 편익요소를 고려하

면, 피크저감용 ESS가 상당부분 타당성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

## 2. DR을 고려한 피크저감용 ESS의 운용특성

### 2.1 피크저감용 ESS의 운용 전략

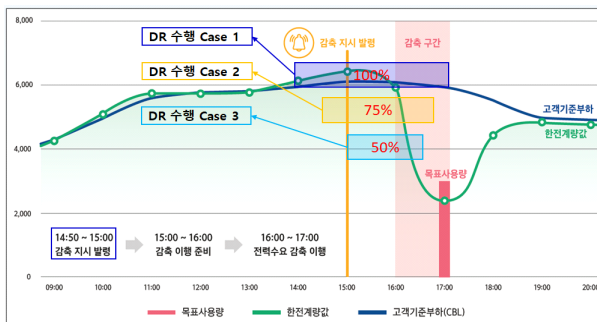
ESS는 크게 전력저장의 배터리, 교류와 직류를 상호 변환하는 전력변환장치(Power Conditioning System, PCS)와 PCS상태 모니터링 및 제어를 담당하는 전력관리 시스템(Power Management System, PMS), PMS로 구성된다. ESS 솔루션의 기능은 신재생연계(RI), 피크저감(PS), 피크저감+비상발전기 대체, 계통의 주파수 대응(FR)을 들 수 있다. 본 논문의 ESS 설비용량은 1MW/2MWh로, 충·방전 운용패턴은 그림 1 처럼 사계절 동안 경부하 시간대인 1시~3시에 충전하고, 최대부하 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 총방전 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 DR 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 SMS의 도입비용을 포함한 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(365일),  $k$  : 경제성 평가 시간,  $h$  : 시간 단위 기간(24시간)

#### (2) 전력량요금 절감

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

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

여기서,  $B_{usage}$  : 전력량요금 절감에 의한 편익요금(원),  $d_{oper}$  : ESS의 연간 운용 일 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 경부하 시간대 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 (7)과 식 (8)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

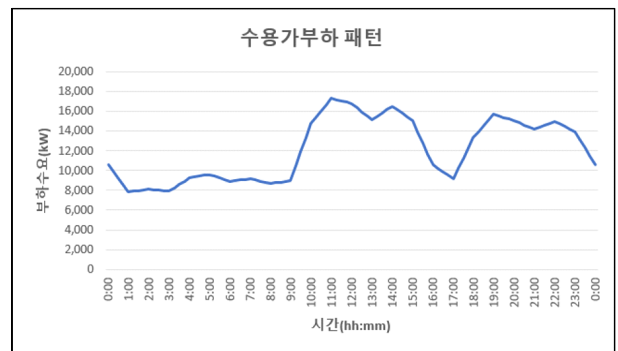
4.1 시뮬레이션 조건

제안한 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 상정한다.

[표 1] 경제성평가 조건

항 목	내 역
대출 상환기간	15년
이자율	4.29%
할인율	5.5%
ESS 수명	15년
상환방식	원금균등상환
운용비	2.5%

또한, 경제성 평가를 수행하기 위한 대상 수용가는 그림 3과 같이 석탄/원유 및 천연가스 광업의 일일 평균 전력소비 패턴을 상정하고, 계약용량은 17,289kW, 계약종별은 '일반용(을) 고압A 선택(Ⅱ)', 기본요금 단가는 8,320원/kW로 적용한다. 한편, ESS의 설비용량은 1MW/2MWh로, 충·방전 운용패턴은 사계절 동안 경부하 시간대인 1시~3시에 충전하고, 최대 부하 시간대이고 동시에 피크가 발생하는 10시~12시에 방전하여, 대상 수용가가 ESS에 의한 피크저감과 수요관리에 의한 효과를 최대화한다. 기후환경요금과 연료비조정요금은 표 2와 같이 전력회사에서 2021년도 공시 단가를 적용하여 각각 5.3원/kW, -3원/kW이며, 전력산업기반기금과 부가가치세의 비율은 기존과 동일하게 각각 3.7%, 10%로 상정한다.



[그림 3] 대상 수용가의 부하수요 일일 패턴

ESS의 경제성을 평가하기 위한 조건은 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, ESS의 설치비용 조건은 제조사마다 단가의 차이가 있는 것을 반영하여, PCS는 1MW를 기준으로 0.8억원과 1억원으로 고려하고, 배터리 시스템은 2MWh를 기준으로 각각 4억원, 5억원, 6억원으로 하며, 공사비 포함 상정한다. ESS의 전체도입비용은 시나리오별로 Csa I 6.24억원, Case II 6.5억원, Case III 7.54억원, Case IV 7.8억원, Case V 8.84억원, Case VI은 9.1억으로 다양한 가격대를 설정하였다. 한편, 공사비 산정에서도 그 폭을 넓게 설정했는데, 이는 시공 환경의 다양성과 조건을 반영했기 때문이다.

[표 2] ESS 도입의 경제성평가 조건

항 목		Cases					
		Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V	Case VI
ESS 설치비용 (천원)	PCS	80,000	100,000	80,000	100,000	80,000	100,000
	Battery	400,000	500,000	500,000	600,000	600,000	600,000
	공사비	144,000	150,000	174,000	180,000	204,000	210,000

### 4.2 DR참여를 고려한 ESS의 운용 특성

전력수급 준비단계 상황도래 시 전력거래소의 감축지시에 반응하여 계약된 용량을 감축하여 정산금을 지급받는 전력수요 의무감축과 고객이 자발적으로 참여하여 수요를 감축하고 실적정산금과 차등기본정산금을 지급받는 자발적 수요감축이 있다. 그런데 피크저감 실행 후 즉, ESS의 방전이 이루어진 상태에서 신뢰성 DR발령 시 표 1에서 나타난 바와 같이 충전시간 부족으로 DR수행 능력은 제한적일 수밖에 없음을 확인하였다. 이것의 대안은, ESS 방전 시 배터리의 방전 잔량 유지, 예비 배터리 운용과 비상발전기의 운용 등이 있으나, 가장 본질적인 대안은 전력거래소(KPX)의 신뢰성 DR발령 시 현행 1시간 전에서 2시간 전으로 하면 개선될 수 있다.

[표 1] 신뢰성 RD 발령 시나리오별 예상

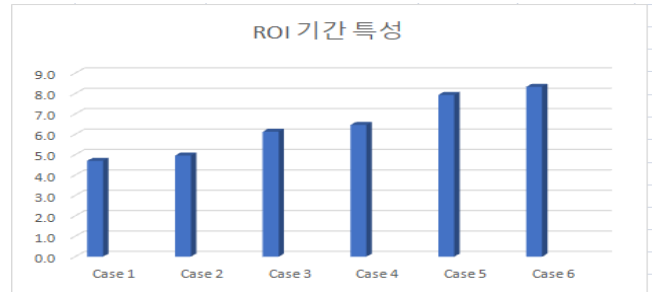
Case	DR 발령 상황 (분)	수행가능(%)
Case 1	피크저감과 DR발령의 일치, 120분 경과	100
Case 2	피크저감 수행 후 90분 경과 DR발령	75
Case 3	피크저감 수행 후 60분 경과 DR발령	50

Case 2,3은 피크저감 수행 후 충전시간의 부족에서 야기됨.

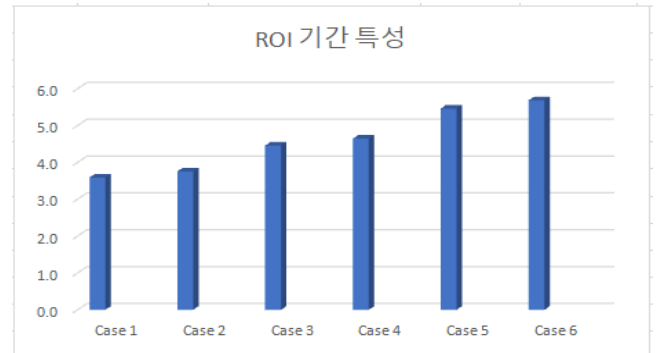
### 4.3 DR참여를 고려한 ESS의 사업 타당성 평가

상기의 경제성평가 조건을 바탕으로, DR참여를 고려하지 않은 경우에 대하여, 배터리 시스템의 가격별(Case I, Case II, Case III)로 비교할 경우, ROI기간이 1.4년 이상 변동하므로, ESS의 경제성에 상대적으로 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한, Case I과 Case II의 경우, ESS의 사업 타당성 측면에서 경제성이 있음을 알 수 있다. 그러나 Case III과 또한, Case V와 Case VI의 경우에는 ROI기간이 8년을 넘어서며 ESS의 수명과 그에 따른 성능 저하, 전력량요금 할인제도 소멸 등을 고려할 때, 피크저감용 ESS의 수익성이 비판적으로 나타났다. 하지만, 수요자원 거래시장 참여를 고려하면, 추가적인 편익으로 인하여, ROI는 그림 4에서 그림 3에 대비 8.3년에서

5.5년으로 투자비 회수기간의 감소는 물론 수익성이 현저히 개선되었음을 알 수 있었다. 따라서 피크저감용 ESS가 DR참여를 고려하면, 상당부분 타당성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.



[그림 3] DR참여 전 ROI 특성(8.3년)



[그림 4] DR참여 후 ROI 특성(5.5년)

## 5. 결론

본 논문에서는 피크저감 ESS와 DR을 고려한 운용 전략을 통해 경제성 평가를 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시하였다. 또한, 제한한 모델링을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 이용하여 타당성을 평가한 결과, ROI기간이 8년을 넘어서며 ESS의 수명과 그에 따른 성능 저하, 전력량요금 할인제도 소멸 등을 고려할 때, 피크저감용 ESS의 수익성이 비판적으로 나타났다. 하지만, 수요자원 거래시장 즉, DR참여를 통하여 획기적으로 개선된 편익요소를 고려하면, 피크저감용 ESS가 상당부분 타당성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20191210301940)로서, 관계부처에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] Byung O Kang, Byung Guk Hwang, Kyoon 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.