

Safety Management System을 고려한 피크저감용 ESS의 경제성 평가에 관한 연구

원종홍*, 신건*, 김경화*, 곽충근*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:sssemwon_2031061006@koreatech.ac.kr

Economy Evaluation in Energy Storage System for Peak Shaving Considering Safety Management System

Jong-Heung Won*, Jian Shen*, Kyung-Hwa Kim*, Chung-Guen Kwak*, Dae-Seok Rho*

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

요 약

최근, 대용량 ESS의 화재 사고가 빈번하게 발생되고 있어, 이에 대한 안전 대책 및 설치/운용 기준 등이 요구되고 있다. 특히, ESS용 소화방재설비와 배터리, PCS는 각각의 장비를 보호하는 기능이 설치되어 있지만, 각 기기 간 연동되어 동작하지 않고 있으므로 이를 통합하여 위험상황을 사전에 분석 및 감지할 수 있는 ESS용 안전관리시스템(safety management system, SMS)의 개발이 요구되고 있다. 그러나, ESS의 안전성을 강화하기 위한 방안으로 기존의 ESS 설비에 SMS를 도입하게 될 경우, ESS의 상태를 진단하기 위한 각종 센서 및 종합감시제어 장치를 추가적으로 설치하는 비용으로 인하여, 기존의 ESS와 SMS에 대한 투자비의 증가로 인해 상용화가 어려운 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 일반 수용가에 많이 설치하여 운용 중에 있는 피크저감용 ESS를 바탕으로, ESS의 안전성을 강화하기 위해 SMS를 도입하는 경우에 대한 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시한다. 이 모델링 바탕으로 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 이용하여 SMS의 도입비용과 ESS의 구성품 비용을 다양하게 고려하여 경제성을 평가한 결과, SMS의 투자비용이 일정비용 이상 높아질 경우, 투자비회수년도가 증가하여 경제적이지 않음을 알 수 있어, 본 논문에서 제안한 모델링의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

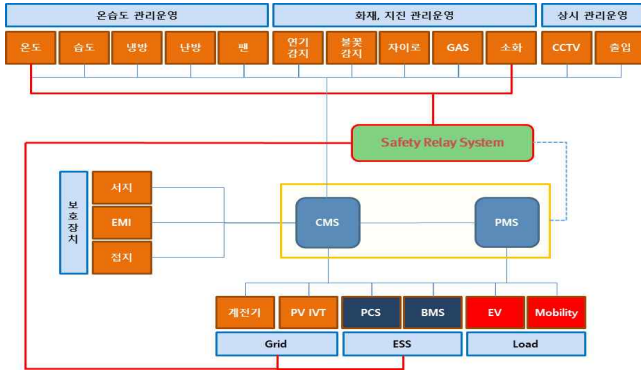
최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 전기저장장치(energy storage system, ESS)의 설치가 매년 급격히 증가하고 있다. 그러나, 최근 대용량 ESS의 화재사고가 빈번하게 발생되고 있어, 이에 대한 안전 대책 및 설치/운용 기준 등이 요구되고 있으며, ESS 시스템의 안전 및 성능에 관한 시험방법 및 안전성 강화 장치의 체계적 구축이 시급한 실정이다. 또한, ESS의 소화방재설비와 BMS 및 PCS들은 각각의 장비를 보호하는 기능을 보유하고 있으나, 각 기기 간 연동되어 동작하지 않고 있어, 이를 통합하여 하나의 시스템으로 관리하고 위험상황을 사전에 분석, 감지할 수 있는 안전관리시스템(safety management system, SMS)의 개발이 요구되고 있다. 이러한 배경 하에, ESS의 안전성을 강화하기 위한 방안으로 기존의 ESS 설비에 SMS를 도입하게 될 경우, ESS의 상태를 진단하기 위한 각종 센서 및 종합감시제어 장치를 추가적으로 설치하는 비용으로 인하여, 기존의 ESS와 SMS에 대한 투자비의 증가로 인해 상용화가 어려운 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 일반 수용가에서 많이 설치하여 운용 중에 있는 피크저감용 ESS를 바탕으로, ESS의 안전성을 강화하기 위해 SMS를 도입하는 경우에 대한 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제

시한다. 여기서, 비용요소는 ESS의 건설비용, SMS의 도입비용, 운용비용으로 구성되며, 편익요소로는 ESS의 피크저감 효과에 의한 기본요금 절감, 전력량요금 절감, 특례 요금제에 의한 기본요금 할인, 전력산업기반요금 및 부가가치세 절감을 고려한다. 제안한 경제성 평가 모델링을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 이용하여 SMS의 도입비용과 ESS의 구성품 비용을 다양하게 고려하여 경제성을 평가한 결과, SMS의 투자비용이 일정비용 이상 높아질 경우, 투자비회수년도가 증가하여 경제적이지 않음을 알 수 있어, 본 논문에서 제안한 모델링의 유용성을 확인하였다.

2. ESS의 안전성 강화를 위한 SMS의 구성

SMS는 ESS의 이상 현상에 따른 안전성을 확보하기 위한 통합 감시제어시스템으로, 폭발성 GAS, 발열, 화재와 같은 화학적·열적 이상 현상, 진동 및 지진과 같은 기계적 이상 현상, 서지, EMC 등의 전기적 이상 현상을 모니터링하고 적절한 보호조치를 수행하는 기능을 가진다. 즉, ESS의 화학/열/기계/전기적 이상 현상으로부터 ESS를 안전하게 운용하기 위한 SMS는 그림 1과 같이 크게 온·습도 관리용 장치(냉·난방장치, 팬, 온·습도장치 등), 화재 및 지진 관리용 장치(열·연감지기, UV/IR 감지기, 소화설비 등), 전기회로 보호용 장치(서지, EMI, 접지상태 등)로 구성되며, 전체 장치들을 통합하

여 모니터링하고 제어하는 통합감시제어장치로 구성된다. 따라서, 기존의 ESS 주요 구성품(연계용 변압기, PCS, 배터리 시스템 등)에 안전성 강화를 위하여 SMS를 도입할 경우, 이상 현상들을 감지하기 위한 각종 센서와 통합감시제어장치 등이 설치되어야 하므로, 기존 ESS의 투자비에 SMS의 추가적인 비용들을 고려한 경제성 분석이 요구된다.



[그림 1] ESS의 안전성 강화를 위한 SMS의 구성도

3. SMS를 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) SMS 도입비용

SMS의 도입비용은 기존의 ESS 설비에 SMS를 추가적으로 설치하는데 지출되는 총 비용으로서, 식 (2)와 같이 Off-gas 검출장치 비용에 배터리 시스템의 용량을 곱한 값과 각종 센서 및 종합감시제어장치 비용에 PCS의 용량을 곱한 값을 더하여 산정한다. 여기서, Off-gas 검출장치는 배터리 시스템의 랙 마다 설치되므로 MWh의 용량으로 고려한다. 또한, 각종 센서는 ESS 설비의 상태를 감시하고 진단하기 위한 장치로 센서, 열·연기센서, 온습도센서 등으로 구성된다.

$$C_{sms} = C_{off-gas} \cdot Q_{batt} + (C_{sensor} + C_{total}) \cdot Q_{pcs} \quad (2)$$

여기서, C_{sms} : SMS의 도입비용(원), $C_{off-gas}$: Off-gas 검출장치의 비용(원/MWh), C_{sensor} : 각종 센서의 비용(원

/MW), C_{total} : 종합 감시제어장치의 비용(원/MW)

(3) 운영비용

운영비용은 ESS를 운영할 때 발생하는 유지보수 비용으로서, 식 (3)과 같이 ESS의 건설비용과 SMS의 도입비용을 포함한 총 비용에 일정 값을 곱하며, 물가상승률을 평가연도별로 반영하여 산정한다.

$$C_{oper} = \sum_{i=1}^n [(C_{ess} + C_{sms}) \cdot r_{oper} \cdot (1 + r_{inflation}(i))^{i-1}] \quad (3)$$

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 (4)와 같이 ESS가 도입되기 전의 수용가의 피크전력과 ESS 도입 이후의 피크전력의 차이 값에 기본요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{base} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h [(P_{peak}(i,j,k) - P_{withess}(i,j,k)) \cdot C_{base}(i)] \quad (4)$$

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(365일), 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 (5)와 같이 ESS가 도입되기 전의 수용가의 시간대별 사용 전력량과 ESS 도입 이후 충·방전 운전으로 인해 변동된 수용가의 시간대별 사용 전력량의 차이에 전력량요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{usage} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{d_{oper}} \sum_{k=1}^h [(P_{kwh}(i,j,k) - P_{kwhwithess}(i,j,k)) \cdot C_{elec}(i,j,k)] \quad (5)$$

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 기본요

금 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 (6)과 같이 일일 평균최대수요 전력 감축량으로 2020년 12월 31일까지 피크감축 추정량에 해당하는 기본요금의 3배만큼 할인해 주었으나, 2021년 01월01부터 2026년 03월31일까지는 기본요금의 1배만큼만 적용된다.

$$B_{discount} = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m [P_{reduction}(i,l) \cdot C_{base}(i)] \quad (6)$$

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.

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

$$B_{tax} = (B_{base} + B_{usage} + B_{discount}) \cdot r_{tax} \quad (8)$$

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%)

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, ESS와 SMS의 설치비용은 15년 동안 원금을 균등 상환하는 것으로 가정하며, 은행에서 차입하는 이자율은 4.29%, 연간 운용비는 ESS 및 SMS 초기 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%
물가상승률	2.59%(2021~2025년), 2.43%(2026~2030년) 2.19%(2031~2035년)

또한, 경제성 평가를 수행하기 위한 대상 수용가는 그림 2와 같이 석탄/원유 및 천연가스 광업의 일일 평균 전력소비 패턴

을 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, 최대부하 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 2] 대상 수용가의 부하수요 일일 패턴

[표 2] 경제성 분석 파라미터 조건

항 목		내 역	
수용가부하의 계약전력[kW]		17,289	
ESS 설비용량	PCS 용량[kW]	1,000	
	배터리 시스템 용량[kWh]	2,000	
기본요금 [원/kWh]		8,320	
전력량 요금 [원/kWh]	경부하 시간대	여름(23~09시)	51.1
		봄,가을(23~09시)	51.1
		겨울(23~09시)	58.1
	중간부하 시간대	여름(09~10시, 12~13시, 17~23시)	104.0
		봄, 가을(09~10시, 12~17시, 17~23시)	73.6
		겨울(09~10시, 12~13시, 10~12시)	104.2
	최대부하 시간대	여름(10~12시, 13~17시)	186.1
		봄, 가을(10~12시, 13~17시)	104.3
		겨울(10~12시, 17~20시, 22~23시)	161.7
기후환경 요금 [원/kWh]	RPS: 4.5		5.3
	ETS: 0.5		
	석탄발전 감축비용: 0.3		
연료비조정 요금[원/kWh]		-3	
부가가치세[%]		10	
전력산업기반기금[%]		3.7	

또한, SMS의 도입을 고려한 ESS의 경제성을 평가하기 위한 시나리오는 표 3과 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 상정한다. 한편, SMS의 투자비용 조건은 안전보호 수준 및 성능에 따라 1MW/1MWh의 ESS를 기준으로 각각 5천만원, 7.5천만원, 1억원으로 가정하며, 이를 본 논문에서 적용한 1MW/2MWh의 용량으로 환산하면, 각각 6.6천만원, 9.9천만원, 13.2천만원의 투자비용이 산정된다.

[표 3] SMS의 도입을 고려한 경제성 평가 시나리오

항 목		Cases					
		Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V	Case VI
ESS	PCS	80,000	100,000	80,000	100,000	80,000	100,000

설치비용 (천원)	Battery	400,000		500,000		600,000	
	공사비	144,000	150,000	174,000	180,000	204,000	210,000
SMS 투자비용 (천원)	미설치	—					
	5천만원	66,000(Off-gas: 32,000, 각종 센서: 7,000, 감시제어장치: 27,000)					
	7.5천만원	99,000(Off-gas: 48,000, 각종 센서: 10,500, 감시제어장치: 40,500)					
	1억원	132,000(Off-gas: 64,000, 각종 센서: 14,000, 감시제어장치: 54,000)					

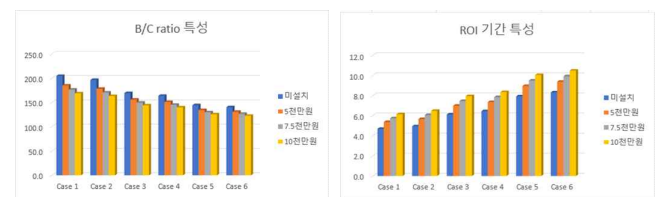
4.2 SMS를 고려한 ESS의 사업 타당성 평가

상기의 경제성평가 조건을 바탕으로, SMS의 도입을 고려하여 시나리오별로 ESS에 대한 B/C ratio 및 ROI 특성은 표 4와 같이 나타낼 수 있다. 이 표에서와 같이, SMS를 미설치하는 경우의 Case 별 B/C ratio 및 ROI기간은 Case I와 Case II에서 196.7%~204.9%, 4.7년~5년, Case III과 Case IV에서 164%~169.6%, 6.1년~6.5년, Case V와 Case VI에서 140.5%~144.7%, 7.9년~8.3년 정도로 유사하게 산정되어, PCS의 가격이 ESS의 경제성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 한편, 배터리 시스템의 가격별(Case I, Case III, Case V)로 비교할 경우, ROI기간이 1.4년 이상 변동하므로, ESS의 경제성에 상대적으로 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한, Case I과 Case II의 경우, SMS의 도입비용을 각각 5천만원, 7.5천만원, 10천만원으로 다양하게 고려하여 분석하면, B/C ratio는 감소하게 되고, 이에 따른 ROI 기간이 5.4년~5.7년, 5.8년~6.1년, 6.2년~6.5년으로 산정되어, 미설치의 경우보다 각각 0.7년, 1.1년, 1.5년 정도 증가함을 알 수 있고, SMS의 높은 도입비용을 고려해도 사업 타당성 측면에서 경제성이 있음을 알 수 있다.

Case III과 Case IV의 경우에는 SMS 비용에 따라 ROI 기간이 각각 7년~7.4년, 7.5년~7.9년, 8년~8.4년으로 산정되어, 미설치의 경우보다 각각 0.9년, 1.1년, 1.5년 정도 증가하게 되고, 이에 따라 SMS의 도입비용이 10천만원 이상 높아지면 사업 타당성 측면에서 경제성이 없음을 알 수 있다. 또한, Case V와 Case VI의 경우에는 SMS 비용에 따라 ROI 기간이 각각 9년~9.4년, 9.5년~9.9년, 10년~10.5년으로 산정되어, 미설치의 경우보다 각각 1.1년, 1.6년, 2.1년 정도 증가하게 되고, 이에 따라 SMS의 도입이 사업 타당성 측면에서 경제성이 없음을 알 수 있다. 따라서, ESS의 초기 투자비가 높을수록 SMS의 도입비용에 대한 ROI 기간의 증가폭이 커져 경제적인 부담이 높아짐을 알 수 있으며, 이에 따라 ESS의 화재를 예방하고 안전성을 강화하기 위해 SMS를 활발하게 도입 및 보급하기 위해서는 정부의 지원제도가 적절하게 시행되어야 함을 알 수 있다. 한편, 표 4에 대한 시나리오별 B/C ratio 및 ROI 특성을 정리하여 그래프로 나타내면 그림 3과 같다.

[표 4] 시나리오별 B/C ratio 및 ROI 특성

SMS 투자비용 (1MW/ 1MWh)	항 목	Cases					
		Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V	Case VI
미설치	B/C ratio(%)	204.9	196.7	169.6	164	144.7	140.5
	ROI 기간(년)	4.7	5	6.1	6.5	7.9	8.3
5천만원	B/C ratio(%)	185.3	178.6	156	151.2	134.6	131
	ROI 기간(년)	5.4 (+0.7)	5.7 (+0.7)	7 (+0.9)	7.4 (+0.9)	9 (+1.1)	9.4 (+1.1)
7.5천만원	B/C ratio(%)	176.9	170.7	149.9	145.5	130.1	126.7
	ROI 기간(년)	5.8 (+1.1)	6.1 (+1.1)	7.5 (+1.4)	7.9 (+1.4)	9.5 (+1.6)	9.9 (+1.6)
10천만원	B/C ratio(%)	169.2	163.5	144.3	140.2	125.9	122.7
	ROI 기간(년)	6.2 (+1.5)	6.5 (+1.5)	8 (+1.9)	8.4 (+1.9)	10 (+2.1)	10.5 (+2.1)



(a) B/C ratio 특성

(b) ROI 특성

[그림 3] 시나리오별 B/C ratio 및 ROI 특성

5. 결 론

본 논문에서는 피크저감용 ESS를 바탕으로, SMS를 도입하는 경우에 대한 경제성을 평가하기 위하여, 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성 평가 모델링을 제시하였다. 이 모델링을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금균등상환 방식을 이용하여 SMS의 도입비용과 ESS의 구성품 비용을 다양하게 고려하여 경제성을 평가한 결과, SMS의 투자비용이 일정비용 이상 높아질 경우, 투자비회수년도가 증가하여 경제적이지 않음을 알 수 있었다. 이에 따라 ESS의 화재를 예방하고 안전성을 강화하기 위해 SMS를 활발하게 도입 및 보급하기 위해서는 정부의 지원제도가 적절하게 시행되어야 함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20182410105070)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [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.
- [2] Seungho Jeon, Yoon Kyung Kim, Jaesung Jung, Suduk Kim, "Feasibility Analysis of Tariff System for the Promotion of Energy Storage Systems (ESSs)", New & Renewable Energy, Vol. 15, No. 3, 2019. 9.