

소방용 비상발전기의 현장부하시험을 위한 ESS 부하시험장치 경제성평가에 관한 연구

이후동*, 태동현*, 최승규**

*한국기술교육대학교 전기공학과, **건양대학교 재난안전소방학과
e-mail:skchoi@konyang.ac.kr

A Study on Economic Evaluations of ESS Load Test Device for Field Load Test of Fire-fighting Emergency Generator

Hu-Dong Lee*, Dong-Hyun Tae*, Seung-Kyou Choi**

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

**Dept. of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

요 약

최근, 소방용 비상발전기의 효율적인 부하시험을 위하여, 시험 중에 발생하는 에너지를 저장하였다가 전기사업자에게 판매하는 ESS 부하시험장치의 도입이 검토되고 있다. 그러나, 리튬이온배터리 기반 ESS의 높은 가격으로 인하여, ESS 부하시험장치는 기존의 Load Bank 방식보다 초기투자비가 많이 소요될 수 있어, 상용화가 어려운 실정이다. 하지만, 비상발전기의 부하시험 동안 발전된 전기 에너지의 판매를 고려하면, ESS 부하시험 장치는 경제적인 사업모델이 될 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS 부하시험장치의 정확한 경제성을 평가하기 위하여, ESS 부하시험장치에 충전된 전력의 판매를 고려한 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시한다. 또한, 제시한 모델링을 바탕으로 ESS 부하시험장치와 Load Bank에 대한 투자회수율과 회수년도를 비교 및 분석한 결과, 전력판매를 고려할 경우 ESS 부하시험장치의 상용화가 가능함을 확인하였다.

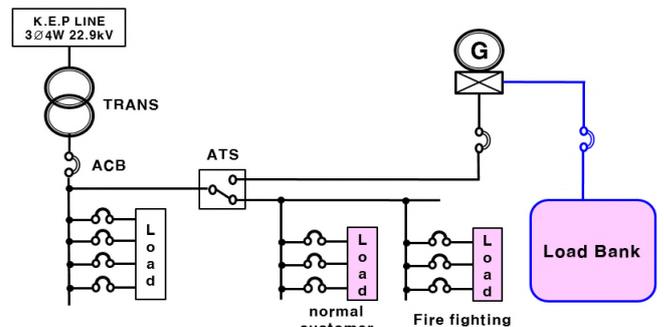
1. 서 론

소방용 비상발전기는 화재와 같은 비상상황 발생 시에 인명과 재산을 보호하기 위한 비상용부하에 전원을 공급하는 중요한 설비이다. 이에 관련 법령에서는 일정규모 이상의 소방대상물은 비상발전기를 의무적으로 설치하고 부하운전으로 시험하여 점검하도록 규정하고 있다[1]. 비상발전기의 일반적인 부하시험 방법은 저항성(R), 유도성(L), 용량성(C) 부하로 구성된 Load Bank를 이용하고 있다. 기존의 Load Bank를 이용한 부하시험 방법은 비상발전기에서 생산된 전력을 열로 소진하여 낭비하는 문제점과 고열 발생에 따른 화재 위험성이 있다. 이러한 이유로 최근에는 전기저장장치(ESS, energy storage system)를 이용하여 비상발전기의 부하시험을 수행하고, 시험 중에 발생하는 에너지를 저장하였다가 전기 사업자에게 판매하는 ESS 부하시험장치의 도입이 제시되고 있다. 한편, ESS 부하시험장치의 초기투자비용은 고가의 리튬이온배터리를 사용하는 관계로 기존의 Load Bank와 비교하여 더 많은 비용이 소요된다. 하지만, 비상발전기의 부하시험 동안 발전된 에너지를 분산전원의 전력거래와 유사하게 전력회사에 판매할 수 있는 경우를 고려하면, ESS 부하시험장치를 이용한 부하시험이 평가기간 동안에 투자비가 회수되어 경제적인 사업모델이 될 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS 부하시험장치의 경제성을 평가하기 위하여, ESS 부하시험장치에 충전된 전력의 판매를 고려한 비용요소와 편

익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시하고 기존의 Load Bank와 비교하여 투자회수율과 회수년도를 분석, 경제적 측면에서의 유용성과 상용화 가능성을 확인한다.

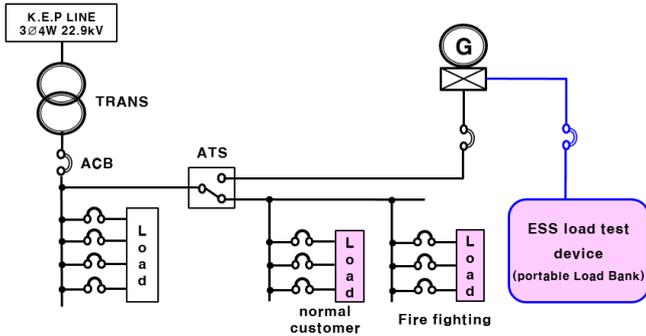
2. 소방용 비상발전기의 현장부하시험 운용방안

기존의 소방용 비상발전기의 일반적인 부하시험 방법은 그림 1과 같이 R, L, C 소자를 부하로 이용하여 구성된 시험장치(load bank)를 사용하여 점검하고 있다. Load Bank를 이용한 부하시험 방법은 비상발전기의 점검에 따라 생산된 전력을 열로 소진하게 되어 에너지를 낭비하는 문제점이 있을 뿐만 아니라 고열 발생에 따른 화재 위험성이 존재한다.



[그림 1] Load Bank를 이용한 비상발전기의 부하시험

이러한 문제점을 개선하기 위하여 비상용부하의 전원용량과 특성에 부합하는 ESS 부하시험장치를 이용, 비상발전기의 성능과 상태를 확인할 수 있는 부하시험 방안을 그림 2와 같이 제시한다[2]. 즉, 비상발전기에 연계된 ESS 부하시험장치가 비상용부하의 용량 및 특성과 동일하게 충전동작을 수행하여 비상발전기의 성능과 상태를 시험하여 확인한다.



[그림 2] ESS 부하시험장치를 이용한 비상발전기의 부하시험

3. ESS 부하시험장치의 경제성평가 모델링

부하시험장치의 경제성평가는 본 연구에서 제시한 ESS 부하시험장치가 이동형으로 개발, 보급되어 대행사업자에 의해 현장에서 부하시험이 수행되는 것을 상정하여 분석한다. 즉, 대행사업자 측면에서 기존에 사용되고 Load Bank와 제시한 ESS 부하시험장치를 사용하는 경우로 나누어 비용요소와 편익요소를 비교해 경제성을 평가한다.

3.1 비용요소 모델링

비용요소는 부하시험장치(Load Bank, ESS)의 건설비용과 운용비용으로 구성된다. 먼저, 건설비용은 비상발전기 부하시험 대행사업자가 현장부하시험을 위하여 부하시험장치를 도입하는데 지출되는 총 비용으로서, 직접비와 간접비에 대하여 식 (1)과 같이 부하시험장치의 용량을 곱하여 산정한다. 여기서, 직접비는 부하시험장치의 단가, 부대비용 등이 있고, 간접비에는 인허가비용, 부가세 등을 고려한다.

$$C_{con} = (C_{di} + C_{indi}) \cdot Q_C \quad (1)$$

여기서, C_{con} : 초기 건설비용(원), C_{di} : 부하시험장치의 직접비(원/kW), C_{indi} : 부하시험장치의 간접비(원/kW), Q_C : 부하시험장치의 용량(kW)

한편, 운용비용은 대행사업자가 부하시험장치를 운용할 때 발생하는 비용으로서, 식 (2)와 같이 인건비와 유지보수비(인건비에 대하여 일정 값을 곱함)로 구성된다.

$$C_{oper}(y) = C_{sal} + C_{sal} \cdot R_{oper} \quad (2)$$

여기서, $C_{oper}(y)$: 해당연도의 운용비용(원), y : 해당연도, C_{sal} : 해당연도의 인건비(원), R_{oper} : 상수

3.2 편익요소 모델링

편익요소는 비상발전기 부하시험에 따라 ESS 부하시험장치에 충전된 전력을 전기판매사업자에게 방전하여 받는 전력요금으로 관련 규정이 없어 RPS(신재생에너지 의무할당제, renewable energy portfolio standard)에 따른 SMP(전력량요금, system marginal price)와 REC(신재생에너지 공급인증서, renewable energy certificate) 가중치에 따른 요금을 적용한다. 하지만, 일반적인 Load Bank는 부하시험 시 생산된 전력을 열로 소진하므로 적용하지 않는다. 그리고 부하시험에 대한 대행 수수료를 고려한다. 먼저, 전력량 요금은 비상발전기의 부하시험 대행사업자가 ESS에 충전된 전력을 방전하여 전기판매사업자에게 받는 전력요금으로서, 식 (3)와 같이 해당연도의 ESS 방전 전력량과 전력거래단가를 곱하여 산정한다. 여기서, 해당연도의 ESS 방전 전력량은 식 (4)와 같이 ESS의 용량, 이용률, 성능저하율, 방전시간을 고려한다.

$$B_{SMP}(y) = SMP(y) \cdot G_{ESS}(y) \quad (3)$$

$$G_{ESS}(y) = Q_{ESS} \cdot U_{ESS} \cdot (1-d)^{y-1} \cdot h \quad (4)$$

여기서, $B_{SMP}(y)$: 해당연도 SMP요금(원), $SMP(y)$: 해당연도 전력거래단가(원/kWh), $G_{ESS}(y)$: 해당연도 ESS 방전 전력량(kWh), Q_{ESS} : ESS의 용량(kW), U_{ESS} : ESS의 이용률, d : ESS의 성능저하율, h : ESS의 방전시간

한편, ESS의 REC 요금은 방전 전력량에 비례하여 비상발전기의 부하시험 대행사업자가 받는 일종의 장려금으로서, 해당연도의 ESS 방전 전력량과 REC 단가 및 가중치를 고려하여, 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{REC}(y) = REC(y) \cdot WF_{REC} \cdot G_{ESS}(y) \quad (5)$$

여기서, $B_{REC}(y)$: 해당연도 REC 요금(원), $REC(y)$: 해당연도 ESS REC 단가(원/kWh), WF_{REC} : ESS REC 가중치

또한, 부하시험 대행 수수료는 비상발전기의 현장부하시험에 따라 수송가로부터 받는 용역비로서, 해당연도의 비상발전기의 연간 시험 횟수와 비상발전기의 시험 단가, 가중치를 고려하여 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{Test}(y) = T_C(y) \cdot C_T \cdot WF_{CT} \quad (6)$$

여기서, $B_{Test}(y)$: 해당연도 부하시험 대행 수수료(원), $T_C(y)$: 해당연도 비상발전기의 시험 횟수, C_T : 비상발전기 시험 단가(원/횟수), WF_{CT} : 비상발전기 용량에 따른 가중치

3.3 경제성평가 방법

부하시험장치의 경제성평가 방법은 Load Bank와 ESS 부하시험장치를 사용하는 경우에 산정된 비용 및 편익을 현재 가치 환산법과 비용편익 분석법을 적용하여 경제성을 평가한다. 먼저, 경제성평가를 위해 산정한 비용과 편익은 미래에 받

생하는 가치이므로 해당연도에 대하여 할인율을 적용하여 식 (7)과 같이 현재가치로 환산한다[3].

$$C_{PW} = \sum_1^n \frac{C_{flow}}{(1+r)^n} \quad (7)$$

여기서, C_{PW} : 현재가치, n : 기간, r : 할인율, C_{flow} : 해당 연도의 현금흐름

한편, 현재가치로 환산한 비용과 편익을 이용해 경제성을 분석하기 위하여, 식 (8)과 같이 편익/비용 비율을 산정한다. 즉, 해당연도 ESS의 SMP 요금, REC 요금, 부하시험 대행수수료를 합한 편익과 건설비용 및 운용비용을 합한 비용의 비율이 1보다 클 경우 경제성이 있고, 값이 커지면 커질수록 수익성이 증가한다.

$$B/C \text{ Ratio}(y) = \frac{B(y)}{C(y)} \quad (8)$$

여기서, $B/C \text{ Ratio}(y)$: 해당연도의 편익/비용 비율, $B(y)$: 해당연도의 편익, $C(y)$: 해당연도의 비용

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 경제성평가 조건

부하시험장치(Load Bank, ESS)를 이용한 시험방법의 경제성을 대행사업자 입장에서 비교, 분석하기 위하여, 500kW급 시험장치 1대를 기준으로 표 1과 같이 평가 조건을 상정한다.

[표 1] 500kW급 부하시험장치의 경제성평가 조건

구 분		내 역
평가기간[년]		20
운용비용 [천원]	인건비[3인/년]	144,000
	기타 비용[인건비×20%]	28,800
건설비용 [천원]	ESS [PCS(500kW), Battery(250kWh) 10년수명]	150,000
	Load Bank [R(500kW), L(400kVar)]	50,000
할인율[%]		5.5
이자율[%]		3.46
전력량 요금(SMP)[원/kWh] [ESS 방전용량 : 250kWh×20일/월×12월/년×80%, 연간]		90.97
REC 요금(태양광전원 연계용 ESS 가중치 5)[원/kWh]		333.70
시험대행 수수료 [천원, 연간]		240,000

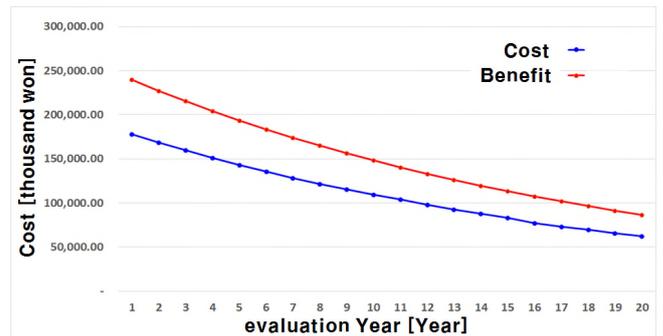
여기서, SMP의 단가는 전력거래소에서 공시한 “2019년도 전력시장통계”의 육지 SMP 요금의 평균가격(90.97원/kWh)을 반영하고, 1회 약 30분 운전으로 충전하여 250kWh, 월 20일, 충전율 80%를 적용해 연간으로 산정한다[4]. 또한, REC 요금은 “전력거래소에서 발표한 2019년도 REC 가격”을 바탕으로 산정한 평균단가(66.74원/kWh)를 고려하여 태양광전원 연계용 ESS 가중치 5를 적용해 연도별 REC 단가(333.70원)를 산정한다[5]. 한편, 부하시험장치의 초기 건설비용은 은행

에서 대출을 받아 15년간 원금과 이자를 매년 동일한 금액으로 상환하는 원금균등분할 상환방식을 사용한다. 한편, ESS를 이용한 500kW급 부하시험장치의 배터리 수명은 10년으로 상정하고, 차입금은 7년간 균등하게 상환하는 방식을 적용한다.

4.2 부하시험 방식별 경제성평가 특성

(1) Load Bank 방식에 의한 경제성평가

Load Bank를 이용한 500kW급 부하시험장치에 대하여, 경제성 평가기간(20년) 동안의 상기 경제성평가 조건을 바탕으로 비용과 편익을 산정하여 나타내면 그림 3와 같다.

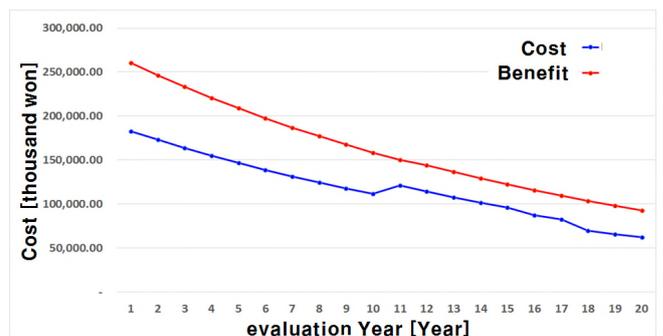


[그림 3] 500kW급 부하시험장치의 비용, 편익(Load Bank)

여기서, 원금과 이자를 합한 건설비용은 약 6천 4백만원, 운영비용은 약 34억 5천만원이 산출되고, 전체비용을 현재가치로 환산하면, 약 22억 2천만원의 비용이 발생한다. 한편, 편익은 시험대행 수익에 따라 약 48억원으로 현재가치로 환산하면, 약 30억원이 산정된다.

(2) ESS 부하시험장치에 의한 경제성평가

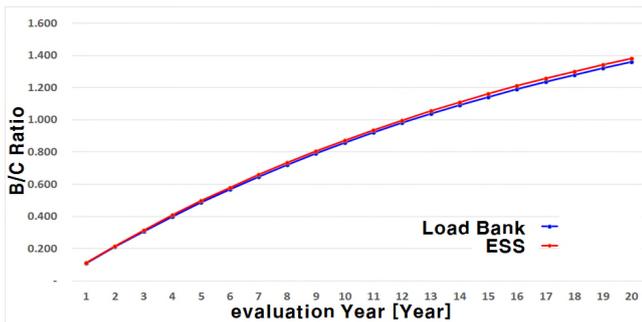
ESS를 이용한 500kW급 부하시험장치에 대하여, 경제성 평가기간 동안 총 비용과 편익은 산정하여 나타내면 그림 4와 같다. 여기서, 건설비용은 약 3억 7천만원, 운영비용은 약 34억 5천만원으로 산출되며, 현재가치로 전체비용을 환산하면 약 23억 5천만원이 산출된다. 한편, 시험대행 수익은 약 43억원, SMP 요금은 약 7천 9백만원, REC 요금은 약 2억 9천만원으로 전체 편익은 약 32억 6천만원이 산정된다.



[그림 4] 500kW급 부하시험장치의 비용, 편익(ESS)

4.3 종합분석

그림 5와 표 2는 경제성 평가 기간에 따른 500kW급 부하시험장치의 편익비를 비교, 분석한 것이다. 여기서, Load Bank를 이용한 부하시험장치에 대하여 현재가치로 환산한 편익비가 약 13년이 지나면 1.038로 투자비용을 회수할 수 있으며, 20년간 운용하면 약 36.0%의 수익이 발생함을 알 수 있다. 한편, ESS를 이용한 부하시험장치에 대하여 현재가치로 환산한 편익비는 약 13년이 지나면 1.056로 투자비용을 회수할 수 있으며, 20년간 운용하면 약 38.3%의 수익이 발생함을 알 수 있다.



[그림 5] Load Bank 및 ESS 부하시험장치의 편익비

[표 2] Load Bank 및 ESS 부하시험장치의 편익비

평가기간(년)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B/C Ratio	Load Bank	0.108	0.210	0.307	0.399	0.486	0.568	0.647	0.721	0.791	0.858
	ESS	0.110	0.215	0.314	0.408	0.496	0.580	0.659	0.734	0.806	0.873
평가기간(년)		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B/C Ratio	Load Bank	0.921	0.981	1.038	1.091	1.142	1.191	1.236	1.280	1.321	1.360
	ESS	0.936	0.998	1.056	1.111	1.163	1.212	1.258	1.302	1.344	1.383

즉, ESS 부하시험장치는 Load Bank 부하시험장치보다 건설비용 및 배터리 교체비용이 추가적으로 발생하지만, SMP와 REC 편익에 의해 더 많은 수익이 발생하여, 경제적임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전기저장장치를 이용하여 비상용부하의 동작특성과 동일하게 ESS가 충전동작을 수행함으로써 비상발전기의 성능 및 상태를 시험할 수 있는 ESS 부하시험장치를 제시하고, 제시한 ESS 부하시험장치가 현장에 적용이 가능한지 검증하기 위하여 기존의 Load Bank를 이용한 부하시험방법과 경제성을 비교하고 분석하여 유용성을 확인하였다. 본 연구의 주요내용과 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존의 Load Bank를 이용한 부하시험 방법은 비상발전기의 점검에 따라 생산된 전력을 열로 소진하게 되어 에너지

를 낭비하는 문제점이 있을 뿐만 아니라 고열 발생에 따른 화재 위험성이 존재한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 비상용부하의 전원용량과 특성에 부합하는 ESS 부하시험장치를 이용, 비상발전기의 성능과 상태를 확인할 수 있는 부하시험 방안을 제시하였다.

(2) ESS 부하시험장치가 신재생에너지 보급정책과 같은 정부정책에 따라 보조금 등을 받고 상용화 된다면, Load Bank와 비교하여 에너지를 재사용 할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 유리하여 유용함을 확인하였다.

(3) 향후, 현장 부하시험용 ESS 부하시험장치를 이동형으로 개발, 보급한다면 비상발전기를 점검하고 시험하여야 할 소방 및 전기관련업체 등에 판매 또는 임대하거나, 부하시험으로 ESS에 충전, 저장된 전력을 판매하는 등 상생기반의 상호 보완적인 비즈니스 모델이 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] S. K. Choi, H. D. Lee, S. S. Choi, M. Ferreira, D. S. Rho, "A Study on the Implementation and Modeling of 20kW Scale ESS Load Test Device for Emergency Generator", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 9, pp. 541-550, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.9.541>
- [2] S. K. Choi, H. D. Lee, D. H. Tae, J. Y. Lee, D. S. Rho, "A Study on the Operation Algorithm of ESS Load Test Device for Emergency Generator Systems", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 69, No. 4, pp. 566~575, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2020.69.4.566>
- [3] J. H. Park, H. D. Lee, D. H. Tae, M. Ferreira, D. S. Rho, "A Study on Disposal Diagnosis Algorithm of PV Modules Considering Performance Degradation Rate", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 10, pp. 493-502, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.493>
- [4] Renewable Energy Supply Mandate (RPS) Scheme 2019 Competitive Bidding Announcement of Fixed Price Contract, Korea energy agency, Korea, 2019
- [5] Domestic Emission Trading Domestic Issues Price Trends and Future Outlook, Korea energy agency, Korea, 2019 Energy Supply Mandate (RPS) Scheme 2019