ISSN 1229-800X The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 64P, No. 4, pp. 273~276, 2015
http://dx.doi.org/10.5370/KIEEP.2015.64.4.273

경제성 분석을 통한 산업용 수용가의 ESS 설치 용량 산정

Calculation of ESS Capacity of Industrial Customer through Economic Analysis

홍 종 석* · 채 희 석** · 문 종 필†
(Jong-Seok Hong · Hui-Seok Chai · Jong-Fil Moon)

Abstract - In this paper, ESS capacity installed in industrial customer is calculated using economic analysis. To do this, electric charge for industrial customer is analyzed and power management system(PMS) of ESS is selected. Reduction of kW cost and kWh cost are set to 'benefit' according to operation of ESS. Also, installation cost and maintenance cost of ESS are set to 'cost'. Proper ESS capacity is determined as a result of benefit-to-cost(B/C) analysis according to the variation of ESS installation cost. In case study, B/C is analyzed for the specific industrial customer and minimum capacity of ESS to make a profit are proposed for the customer.

Key Words : Benefit-to-cost, Economic analysis, ESS, Load curve, Power management system, kW cost, kWh cost

1. 서 론

전력부하가 서서히 증가하고 분산전원의 확대, 배전계통의 루프화 및 정부의 보급정책에 힘입어 에너지저장시스템(ESS)의 사용이 증가하고 있다. 한전은 2014년부터 4년간 주파수 조정용(Frequency regulation)으로 ESS를 설치할 계획이며, 2020년까지의 ESS 로드맵에 따르면 2014년부터 100kW~200kW의 상업용 ESS, 2015년부터 300kW 이상 급의 산업용 ESS, 2016년부터 10kW급의 가정용 ESS보급을 계획 중이다. 또한 발전원 연계 및 송배전망을 위한 대형 ESS도 단계적으로 보급할 계획이다.

전력계통 측면에서는 예비력 조정을 통한 주파수 안정도를 위하여 ESS를 설치한다. 그러나 일반적으로 수용가에서는 경제적인 목적으로 사용되고 있다. 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 전력피크 감소를 통한 기본요금 절감이며, 둘째는 전력요금이 저렴한 시간에 ESS를 충전하고 비싼 시간에 방전하여 전력량요금에 대한 이득을 취하는 것이다. 따라서 수용가에서는 ESS를 설치하기 위해서는 경제성 평가가 우선시되어야 한다. 경제성 평가를 통하여 어느 정도 용량의 ESS를 설치하는 것이 경제적인 효과를 극대화 할 수 있는지가 주요 관심사이다.

ESS의 적정용량을 선정하기 위한 기존의 연구로써 참고문헌 [1]에서는 ESS의 연간 충방전계획의 수립 모형을 제시하고, 이 모형으로부터 전기사용요금 최대절감률을 바탕으로 최적용량을 선정하는 방법을 제시하였다. 참고문헌 [2]에서는 ESS의 투자비용과 전기사용요금을 반영하여 ESS의 최적용량을 산정하는 방법을 제안하였다.

수용가에서 설치할 ESS의 적정용량을 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 우선, 최적용량을 결정하기 위해서는 ESS의 운전방식인 PMS(Power Management System)가 결정되어야 한다. ESS를 어떻게 운전하느냐에 따라 경제적인 효과가 매우 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 다음으로 ESS의 운전방식이 결정되어도 실제로 설치된 ESS의 운전이 제안한 방식대로 되지 않을 경우가 대부분일 것이다. 수용가의 부하예측의 오차가 큰 경우가 많으며, 연중 예기치 못한 상황이 항상 발생할 가능성이 존재하기 때문이다. 따라서 최적의 ESS 운전알고리즘을 통하여 ESS의 최적 용량을 결정하였더라도, 실제로 설치한 수용가에서는 경제적인 효과가 당초 계획했던 것만큼 미치지 못할 가능성이 매우 크다. 이러한 상황에도 불구하고 ESS를 설치할 수용가에서는 최적의 ESS 용량을 선정하기 위한 기초적인 연구결과가 필요하다.

본 논문에서는 ESS의 경제성 분석을 통하여 산업용 수용가에 대하여 적정용량을 결정 할 수 있도록 가이드라인을 제시한다. ESS는 현재 가격이 매우 높기 때문에 경제성이 없다. 그러나 ESS의 설치비용은 점차적으로 낮아질 것이므로 예측된다[3]. 그림 1은 Navigant Research에서 예측한 ESS의 가격을 나타낸다. 즉, 배터리 가격이 연평균 16%씩 감소되고 PCS 가격이 연평균 10%씩 감소되어 2020년 경에는 ESS의 가격이 현재의 약 50% 수준으로 감소할 것으로 예측된다. 본 논문에서는 ESS의 설치비용이 현재 수준의 30%~60%까지 10%씩 감소할 경우, 각 감소에 따라, 또한 산업용 수용가의 전력요금제에 대하여 수용가에서 적정 ESS의 용량을 선택하도록 경제성 평가를 수행하였다.

2. 산업용 수용가의 전기요금 체계

국내 산업용 수용가는 부하특성에 맞게 적절한 요금제를 선택 할 수 있도록 되어 있다. 특히 산업용 고압전력B는 기본요금과 전력량요금에 차등을 두어 3가지의 옵션을 제공하

† Corresponding Author : Dept. of Electrial Engineering Korea National University of Transportation, Korea
E-mail : moon@ut.ac.kr
* LG Electronics Inc., Korea
** Dept. of Electrial Engineering, Soongsil Univ., Korea
접수일자 : 2015년 11월 2일
수정일자 : 2015년 11월 24일
최종완료 : 2015년 11월 25일

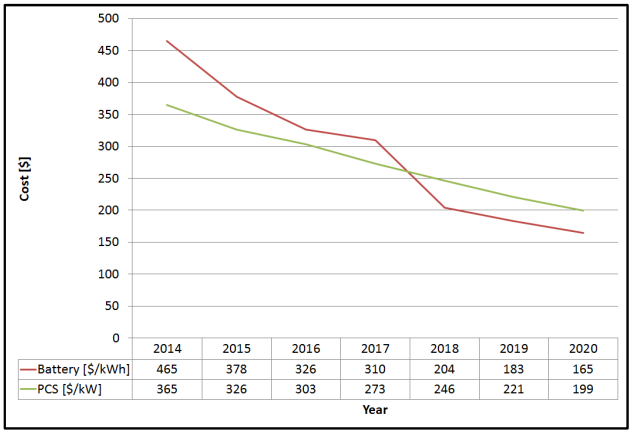

그림 1 ESS가격 예측
Fig. 1 Estimated price of ESS

표 1 산업용 고압전력요금B
Table 1 Electricity price for Industrial customer (option B)

전력요금 (원/kW)	선택요금1		6,630		
	선택요금2		7,380		
	선택요금3		8,190		
			여름	봄·가을	겨울
전력량 요금 (원/kWh)	선택요금 1	경부하	60.0	60.0	67.0
		중간부하	112.3	82.3	112.3
		최대부하	193.5	112.6	168.5
	선택요금 2	경부하	56.2	56.2	63.2
		중간부하	108.5	76.9	106.8
		최대부하	188.1	107.2	163.0
	선택요금 3	경부하	54.5	54.5	61.6
		중간부하	106.8	76.9	106.8
		최대부하	188.1	107.2	163.0

고 있다. 표 1은 산업용 고압전력B의 요금제를 나타낸다[4].

표 1에서 전력요금이 저렴할 경우에는 상대적으로 전력량 요금이 비싼 것을 볼 수 있으며, 반대로 전력요금이 비쌀 경우에는 전력량요금이 저렴한 것을 알 수 있다. 표 1에서 경부하, 중간부하, 최대부하 시간대는 계절에 따라 시간이 다르게 나타난다. 표 2는 계절에 따라 경부하, 중간부하, 최대부하 시간대를 나타낸다[5].

3. ESS 운전 알고리즘 선정

ESS의 적정용량 산정을 위해서는 경제성 평가가 필요하며 경제성 평가를 위해서는 먼저 수용가에서 ESS를 어떻게

표 2 계절에 따른 시간 구분
Table 2 Time category according to seasons

구분	여름 (6월 1일 ~ 8월 31일)	봄 (3월 1일 ~ 5월 31일) 가을 (9월 1일 ~ 10월 31일)	겨울 (11월 1일 ~ 익년 2월 말일)
경부하	23시~09시	23시~09시	23시~09시
중간부하	09시~14시 17시~23시	09시~14시 17시~23시	09시~10시 12시~17시 20시~22시
최대부하	14시~17시	14시~17시	10시~12시 17시~20시 22시~23시

운전할 것인지를 결정하여야 한다. 일반적으로 ESS 운전은 연중 피크가 발생할 때 피크를 절감하는 것과 평상시 전기요금이 낮은 시간에 충전하고 요금이 비쌀 때 방전하여 최대의 이득을 창출하도록 운전한다. 이를 위하여 정확한 부하예측과 운전알고리즘을 요구한다. 그림 2는 부하예측이 정확하게 이루어진 경우에 대하여 ESS를 운전한 예를 나타낸다.

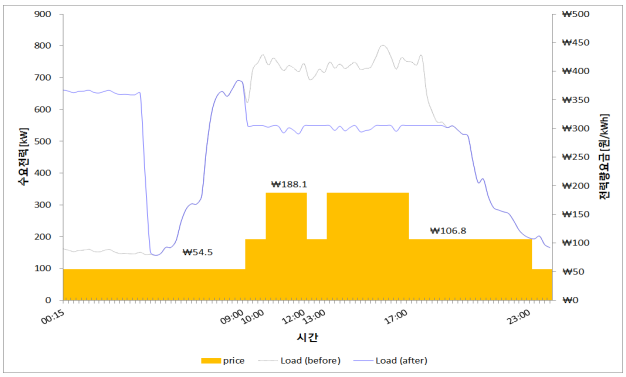

그림 2 ESS를 적절히 운전한 예
Fig. 2 Example of proper ESS operation

그러나 수용가에서 부하예측을 할 경우 정확하지 않을 가능성이 많다. 한 연구결과에 따르면 수용가 부하예측의 오차는 최대 40%에 이르는 것으로 보고되고 있다. 따라서 최근 예측을 하지 않고 전날 운전한 기록을 이용하여 ESS를 운전하는 연구도 발표되었다[6]. 부하곡선을 얼마나 정확하게 예측하고 그에 따라 ESS를 얼마나 정확하게 운전하는지와 ESS를 어떻게 운전하는지에 따라 경제성 평가는 완전히 달라지게 된다. 따라서 ESS를 어떻게 운전하는지를 결정하고 경제성 평가를 수행하여야 하지만, ESS 운전 방식은 수많은 경우가 있고, 모든 ESS 운전방식에 대하여 경제성 평가를 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 부하예측이 정확하고 그에 따라서 가장 적절하게 ESS를 운전한다고 가정하고 경제성 평가를 수행하였다. ESS를 공급하는 다양한 회사에서는 자신이 공급하는 ESS 운전 알고리즘이 가장 완벽하려고 노력하기 때문에 이것은 합리적이라 할 수 있다. 또한 이것은 다양한 수용가에서 다양한 ESS 운전방식을 사

용하는 현실에서 다양성을 대표할 수 있는 적정 ESS 용량을 제시하는 가장 합리적인 방법일 것이다.

4. 경제성 평가를 통한 적정 ESS 용량 선정

4.1 부하데이터 분석 및 ESS 적용

본 논문에서는 국내 A산업용 수용가의 1년간의 부하데이터를 이용하였다. 그림 3은 그 부하곡선을 나타낸다.

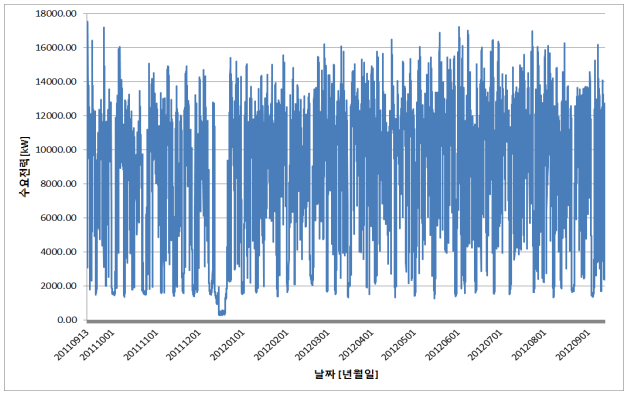

그림 3 산업용 수용가 A의 연 부하곡선
Fig. 3 Yearly load curve of industrial customer A

그림 4는 최대부하 발생일의 부하곡선이다. 최대부하는 14:15~18:00까지 발생하였으며, ESS를 적용하지 않았을 경우는 실선으로, ESS를 적용하였을 경우는 점선으로 나타내었다. ESS 적용에 따라서 최대부하는 17,519kW에서 16,471kW로 약 6% 정도 낮아졌다. 최대부하의 절감은 해당 수용가의 1년간의 기본요금을 결정하기 때문에 많은 전기요금 절감을 가져올 수 있다.

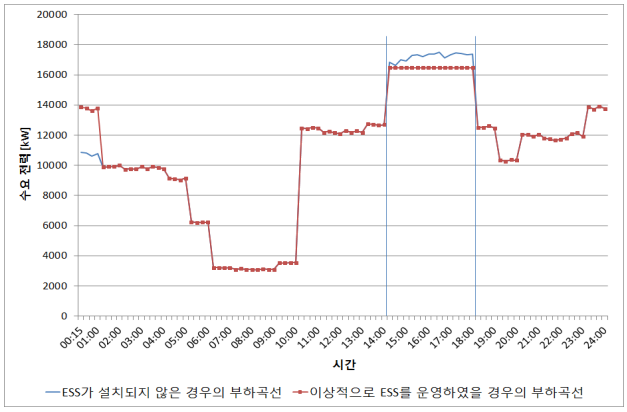

그림 4 최대부하발생일의 부하곡선
Fig. 4 Load curve of peak day

그림 5는 최대부하일에 대한 ESS 충방전량 및 잔존에너지를 나타낸다. ESS는 피크가 발생한 14시부터 방전을 시작하여 18시에 방전이 종료되는 것을 알 수 있다.

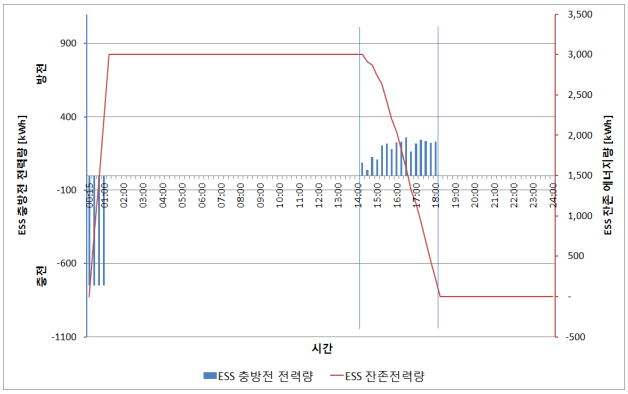

그림 5 ESS의 충방전량 및 잔존전력량
Fig. 5 Charge/discharge and SOC of ESS

4.2 ESS 가격에 따른 편익/비용(B/C) 분석

앞 장에서 언급한 바와 같이 ESS 운전은 100% 정확하다고 가정하였으며 경제성 평가를 위하여 ESS 설치비용은 10억원/MW.MWh이고 ESS의 연간 운영비용은 2천만원/년이라고 가정하였다. 또한 ESS의 기대수명은 15년이고, 연간 이자율은 4%로 가정하였다. 전기요금은 산업용 고압전력 B를 적용하였다.

ESS의 B/C 분석에 있어서 비용 관련 요소는 ESS 설치로 인하여 발생하는 모든 비용을 15년에 대하여 동일자금열형태로 환산하였다. 편익요소는 ESS 설치 유무에 따른 전기요금 절감으로 하였다. 최종적으로 편익에서 비용을 빼서 그 차액이 양의 값이면 경제성이 있는 것으로, 음의 값이면 경제성이 없는 것으로 판정하였다.

ESS는 현재 설치비용이 지나치게 비싸기 때문에 경제성이 없다. 따라서 ESS의 비용이 현재의 30%~60%(70%~40%인하)로 저렴해지는 경우에 대하여 경제성 분석을 수행하였다. 그림 6은 경제성 분석을 통한 ESS의 용량에 따른 기대편익을 나타낸다.

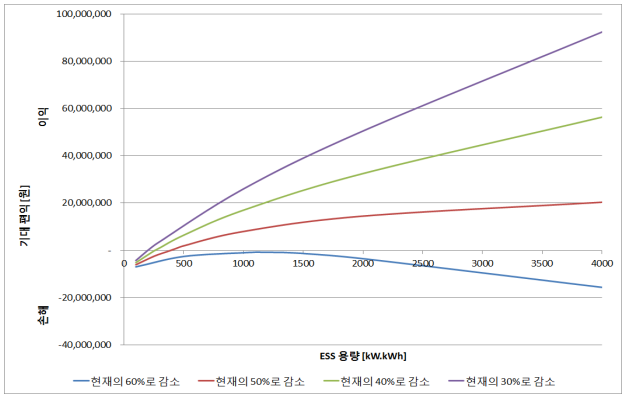

그림 6 ESS 설치 용량에 따른 편익
Fig. 6 Benefit according to capacity of ESS

그림에서 보면, ESS 비용이 현재의 60%로 감소(40% 저하)한 수준에서는 어떠한 용량의 ESS를 설치하더라도 경제적 이득이 발생하지 않는다. 그러나 서론에서 언급하였듯이 향후 ESS 용량은 2020년까지 현재의 약 50% 수준으로 낮

아질 것이다. 그림에서 ESS 비용이 현재의 50%수준으로 낮아질 경우에는 경제적 이득이 발생하는 용량이 나타난다. 그림 7은 그림 6을 확대한 그림이다.

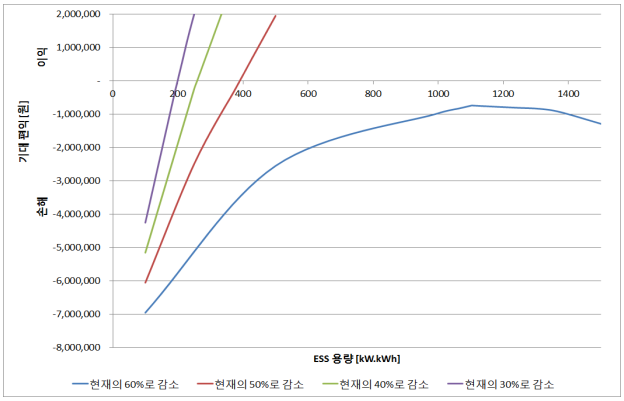

그림 7 ESS 설치 용량에 따른 편익(0 ~ 1500kW)
Fig. 7 Benefit according to capacity of ESS(0 ~ 1500kW)

그림 7에서 보면 ESS 비용이 현재의 50% 수준으로 감소하면 약 390kW 이상, 40% 수준에서 260kW 이상, 30%수준에서 약 200kW 이상 설치하면 경제적인 이득이 발생하는 것으로 나타났다. 각각의 비용 수준에서 해당 용량 이상을 설치하게 되면 경제적인 이득이 점점 커지는 것으로 나타났다. 물론 연간 운영비용을 용량에 따라 점점 커지는 것으로 가정하였다면 경제적인 이득이 가장 큰 ESS 용량을 결정하는 것도 가능할 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 산업용 수용가에서 ESS 설치시 경제적인 이득을 최대로 하기 위한 적정 ESS 용량을 선정하였다. 산업용 수용가에 대한 전기요금 체계를 분석하고, ESS 설치시 기본요금과 전력량요금에서 이득을 편익으로 선정하고 설치비용 및 운영비용을 비용으로 선정하여 그 차액을 총 수익으로 결정하였다. 현재의 ESS 설치비용으로는 경제적인 이득이 발생하지 않았고, ESS 비용이 현재의 30%에서 60%까지 낮아질 경우에 대하여 경제성을 분석하였다. 분석결과 현재의 50% 정도로 가격이 낮아질 경우부터는 경제적인 이득이 발생하였다. 본 연구결과는 수용가에서 ESS를 설치할 경우 어느 정도 용량의 ESS를 설치하는 것이 경제적인 이득을 최대로 할 수 있는지에 대한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임

References

[1] K.-H. Cho, S.-K. Kim, E.-S. Kim, “Optimal Capacity Determination Method of Battery Energy Storage System for Demand Management of Electricity Customer”, The Trans. of KIEE, Vol. 62, No. 1, pp. 21-28, 2013.
[2] J.-K. Park, Y.-S. Baek, K.-S. Jeong, J.-H. Park, “Optimal Capacity Determination of BESS for Customer using Investment Cost and Electric Cost”, The Trans. of KIEE, Vol. 64, No. 2, pp. 208-213, 2015.
[3] Navigant Research, “ESS Market“, 2014, 2Q.
[4] KEPCO, Supply agreement of electricity, 2013.11.
[5] KEPCO, Supply agreement enforcement bylaws of electricity, 2014.01.
[6] J.-S. Hong, B.-W. Kang, H.-S. Chae, J.-C. Kim, “Study on the Economic Analysis for Non-Prediction Algorithm with the Energy Storage System”, Journal of KIIEE, Vol. 29, No. 5, pp. 94-99, May 2015

저 자 소 개

홍 종 석 (文 鍾 必)

1972년 12월 2일생. 2000년 안양대 전기공학과 졸업. 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료
E-mail : entrany@gmail.com

채 희 석 (蔡 熙 石)

1984년 10월 6일생. 2011년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석박통합과정 수료.
E-mail : selaff@ssu.ac.kr

문 종 필 (文 鍾 必)

1977년 5월 27일생, 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 2009년~현재 한국교통대 전기공학과 부교수.
E-mail : moon@ut.ac.kr

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.