

교육용 수용가 ESS 용량설계에 관한 연구

안정운, 오용택*
한국기술교육대학교 전기공학과

A Study on Energy Storage System Capacity Design for Educational Service Customer

Jeong Woon Ahn, Yong-Taek Oh*

Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 본 논문은 교육용 수용가의 ESS 적정 용량 설계를 용이하게 수행할 수 있는 방안을 제안한다. ESS는 초기 설치비용이 많이 소요되는 특성으로 적정용량 산정에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔지만, 교육용 수용가의 부하데이터 특성을 고려한 실제 적용에는 어려움이 있는 실정이다. 일반적으로 ESS 용량선정은 대상 수용가의 부하사용 특성 분석 후 ESS 설치 목표와 운용방안을 수립하고, ESS 용량 후보군을 선정하여 경제성 분석을 통해 경제적 편익이 가장 큰 조합을 최종용량으로 선정한다. 본 연구는 교육용 수용가의 부하특성을 분석하고, ESS 운용전략에 따른 전력사용량 변화를 분석하기 위한 프로그램을 설계하고 작성하였으며, ESS 용량설계 시 경제성 분석에 활용하였다. 경제성 분석을 위한 편익 요소는 전력요금 절감을 기준으로 하였으며, 투자비 회수기간 및 총 편익이 가장 큰 용량을 적정용량으로 설계하였다. 사례연구에서는 교육용 수용가의 연간 실제 전력사용 데이터를 활용하여 ESS 설치에 따른 시간대별 전력사용량 변화를 분석하고, 경제성 검토를 위해 연간 편익을 산출하였으며, 최대 편익의 조합을 적정용량으로 제안하였다.

Abstract This paper proposes a method for the appropriate capacity design of an energy storage system (ESS) for educational service customers. Although the research on estimating the appropriate capacity for ESS installation has been conducted actively because of the high initial installation costs, it is difficult to apply in actual situations, considering the load data characteristics of educational service customers. Generally, estimating the ESS capacity involves analyzing the load characteristics of the target customer, establishing ESS installation goals and operation plans, sorting ESS capacity candidates, and selecting the combination that provides the greatest economic benefits through economic feasibility analysis. This study analyzed the load characteristics of educational service customers and designed and developed a program to analyze changes in power usage based on ESS operational strategies. The data were used for economic feasibility analysis in ESS capacity design. The economic benefits for feasibility analysis were based on reduced electricity bills, and the appropriate capacity was designed based on the recovery period of investment costs and total benefits. In the case study, the time-of-day power usage changes resulting from ESS installation were analyzed using annual power usage data for educational service customers. The annual benefits were calculated for an economic feasibility evaluation. The appropriate capacity was proposed based on the combination that provides the maximum benefit.

Keywords : Energy Storage System(ESS), Capacity Design, Power Load, Economic Feasibility, Educational Service Customer

이 논문은 2020년도 한국기술교육대학교 연구제파견연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Yong-Taek Oh(Korea University of Technology and Education)

email: ytoh@koreatech.ac.kr

Received December 23, 2022

Accepted April 7, 2023

Revised February 23, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

파리협정 발효 이후 세계 각국은 탄소배출량 감축을 위해 에너지전환정책을 추진 중에 있으며, 2020년 세계 재생에너지 신규 발전설비는 256GW로 전년 대비 약 25% 증가하였다[1]. 태양광, 풍력으로 대표되는 재생에너지는 출력의 간헐성 문제를 가지고 있으며, 다른 발전원 또는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)와의 연계를 통한 기술적 대책으로 문제를 극복하고 있다[2].

ESS는 에너지 저장 매체인 이차전지의 가격이 높아 초기 투자비용이 큰 특징을 가지고 있어, 최적용량 산정 또는 경제성 분석에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 전력계통과 연계하거나 재생에너지 또는 마이크로그리드와 연계 시 등 ESS의 활용 용도에 따라 최적용량 산정에 대한 다양한 연구들이 있었으며[3-5], 경제성 분석에 관한 연구 또한 국내외에서 많은 진행되었으나 최대수요전력 절감으로 인한 기본요금 할인을 고려하지 않았고[6], 계절별·시간대별 요금제 적용에 따른 전력요금 편익을 고려하지 않고[7], ESS의 수명이나 초기 투자비, 유지보수비 등을 적절하게 고려하지 않고 있었다[8-10]. 실제 현장에서는 ESS 용량 산정의 다양성으로 적용이 어려워 절감하고자 하는 최대수요전력량에 충·방전시간을 고려하여 배터리와 PCS용량을 산정하는 실정이다.

본 논문에서는 수용가에서 ESS 설치를 검토할 시 적정용량 산정을 위한 설계방안을 제안하고, 경제성 분석을 용이하게 수행 할 수 있는 프로그램을 제안한다. 수용가 전력사용 특성에 부합하는 운용목표와 세부적인 운용방안을 수립 후 프로그램으로 작성하여 ESS 설치 전·후의 전력사용변화를 확인 할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 ESS 설치·운용의 효율성 검증에 활용할 수 있도록 하였다. 사례연구에서는 교육용 수용가를 대상으로 연간 전력사용데이터 분석에 따른 ESS운용전략과 적정 용량을 제안하고 경제성 검토를 위해 연간 편익을 분석하였으며, 분석결과 최대 편익의 배터리, PCS 용량조합을 적정용량으로 제안하였다.

2. ESS 용량선정 절차

Fig. 1은 ESS용량산정을 위한 전체적인 절차를 나타낸 것으로 먼저 전력사용 특성을 확인하고, 그 결과에 따라 ESS 설치·운용 목표를 설정한다. 이후 목표 달성을 위

한 적절한 운용방안을 수립하고, 용량 후보군을 선정 후 경제성 분석을 통해 적정성여부를 판단하여 최종 ESS용량을 선정한다.

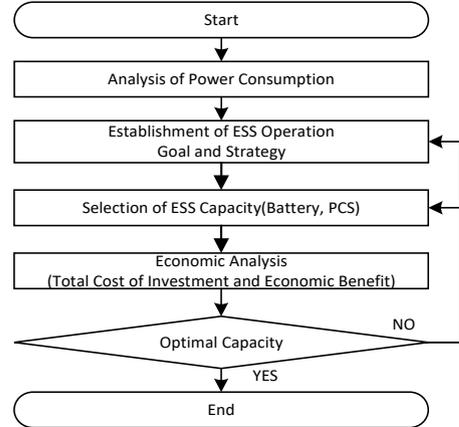


Fig. 1. Optimal Capacity Determination Method of ESS

2.1 전력사용 분석

한국전력 전력소비행태분석에 따르면 수용가의 부하 사용 패턴을 주간 집중형, 주간형, 오전·오후·야간형, 일자형의 6가지 형태로 구분한다[11]. 교육용 수용가는 Fig. 2와 같이 10~12시, 13~15시에 전력사용량이 집중되는 주간 집중형 형태를 나타낸다. 시간대별 전력사용량 편차가 큰 특징을 활용하여 경부하요금 적용시간대에 충전, 최대부하요금 적용시간대에 방전동작을 통해 기본요금 및 전력량요금 절감을 기대할 수 있다.

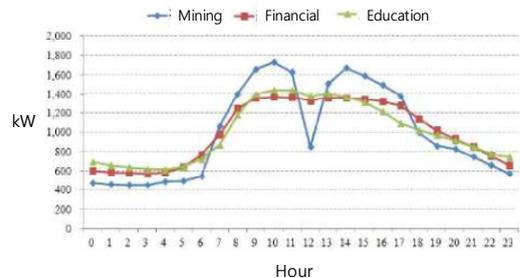


Fig. 2. Power Usage Patterns(Daytime Intensive type)[11]

또한, 교육용 수용가는 방학기간과 같이 특정기간 동안 전력사용량이 급격히 감소하는 특징을 가지고 있어 계절별·시기별·일별 부하사용 분석을 통해 적절한 운용방안을 수립할 필요가 있다.

2.2 ESS 운용목표 수립

계통측면에서 ESS 설치에 따른 편익은 최대수요전력 감축, 주파수 안정화 등이 있으나, 수용가 측면에서는 경제적 편익이 최우선 한다. 수용가의 경제적 편익 요소는 기본요금 절감, 전력량요금 절감 등이 있으며, ESS 운용 목표는 경제적 편익요소에 따라 3가지로 구분할 수 있다.

한국전력 전기요금은 2부 요금제를 채택하여 Eq. (1) 과 같이 기본요금과 전력량요금으로 구성되어 있으며, 주택용을 제외한 모든 요금제에서 기본요금은 검침 당월을 포함한 직전 12개월 가운데 7~9월, 12~2월 및 해당 월 중 가장 큰 수요전력을 요금적용전력으로 정하고 기본요금 단가를 곱하여 정한다[12]. 따라서 기본요금 절감 편익을 목표로 ESS 운영 시에는 최대수요전력을 감축하여야 한다.

$$\text{Electricity rate} = W_B + W_C \quad (1)$$

Where, W_B denote basic charge, W_C denote electricity charge

전력량요금 절감 목표는 계절별·시간대별 요금제 적용 수용가에 적합한 것으로 경부하요금 적용시간에 배터리를 충전 후 최대부하요금 적용시간대에 방전을 통해 전력량요금을 절감하는 방법이다. 교육용 전력요금제의 계절별·시간대별 전력요금과 적용시간은 Table 1, Table 2와 같다[12].

Table 1. Electricity Tariff(Educational(B))

Classification		Demand Charge	Energy Charge		
			Summer	Spring/fall	Winter
High Voltage(A) OptionII	Off-peak	6,980	52.6	52.6	56.6
	Mid-peak		97.3	67.0	95.8
	On-peak		163.2	87.5	134.5

Table 2. Season and Time-period classification

Classification	Summer, Spring and fall	Winter
Off-peak	23:00~09:00	
Mid-peak	09:00~10:00 12:00~13:00 17:00~23:00	09:00~10:00 12:00~17:00 20:00~22:00
On-peak	10:00~12:00 13:00~17:00	10:00~12:00 17:00~20:00 22:00~23:00

세 번째 혼합목표는 기본요금과 전력량요금 모두를 절감하기 위해 앞서 설명한 두 가지 방안을 모두 고려하는 방법이다. 부하사용 분석결과에 따라 월별·계절별·시기별로 달리하거나, 1년 내내 두 가지 방법을 혼합하여 적용하는 등의 방법이 있다.

2.3 ESS 운용방안 수립

ESS 운용방안은 배터리의 충전과 방전동작의 세부사항을 정하여 ESS 운용 목표 달성 및 경제적 편익 최대화를 목적으로 한다. 충전동작은 전력량요금이 가장 낮은 경부하요금 적용시간(23~9시)에 공통 동작하는 것으로 정하고, 방전동작은 ESS 운용 목표에 따라 최대수요전력 감축을 통한 기본요금 절감 목표 시에는 Peak Cut mode, 전력량요금 감축을 목표 시에는 Schedule mode, 기본요금 및 전력량요금 모두 감축을 목표 시에는 Hybrid mode로 운용한다.

2.4 배터리 및 PCS 용량 후보 선정

배터리 및 PCS 용량 후보는 제한된 설치비 예산 한도 내에서 최적의 용량 조합을 찾기 위한 것으로 Fig. 3와 같이 PCS 용량은 절감하고자 하는 최대수요전력량으로, 배터리 용량은 절감목표를 초과하는 일간 전력사용량을 기준으로 선정한다.

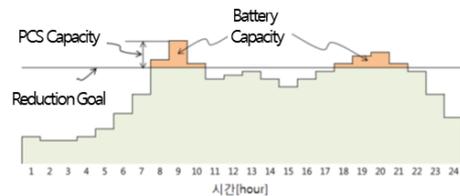


Fig. 3. Determination of the Battery and PCS capacity[13]

2.5 경제성 검토

ESS 설치에 필요한 총 투자비는 배터리, PCS 등의 설비비용과 부가적인 공사비용 등이 있으며, 수용가에서 얻을 수 있는 편익은 2.2에서 설명한 전기요금 절감과 ESS 충전전력 전기요금 할인이 있다.

2.5.1 ESS 충전전력 전기요금 할인[12]

ESS 충전전력 전기요금 할인은 평균 최대수요전력 감축량(Average Maximum Power demand, AMP)에 기본요금 단가를 곱한 금액을 감액하는 것으로, AMI부설

수용가는 Eq. (2)와 같이 산출한다.

$$AMP = \frac{NDA}{WOTM \times 3} \quad (2)$$

Where, NDA denote Net Discharge Amount, WOTM denote Weekdays Of The Month

순방전량 합계(Net Discharge Amount, NDA)는 Eq. (3)과 같이 최대부하요금 시간 중 지정시간 방전량(A)에 가중치를 곱한 값과 중부하요금 시간 중 지정시간 방전량(B)에 가중치를 곱한 값, 그리고, A시간을 제외한 최대부하요금 시간의 방전량의 합으로 구한다.

$$NDA = (A \times w) + (B \times w) + C \quad (3)$$

Where, A denote discharge amount(specified time on on-peak), B denote discharge amount(specified time on mid-peak), C denote discharge amount(on-peak time excluding A), w denotes designated weight

계절별 방전 지정시간과 가중치 세부내용은 Table 3와 같다.

Table 3. Electric discharge specified time and Weight

Classification	Discharge specified time		Designated 3hours weight		
	A time	B time	Indoor	Outdoor	
Summer	14~15 15~16 16~17	-	1.23	1.1	
Winter	10~11 17~18	9~10	A time	1.23	1.1
			B time	1.3	1.34
Spring/ fall	10~11 14~15 16~17	-	1.23	1.1	

2.5.2 경제성 검토 방법[6]

경제성 검토는 비용과 편익의 현재가치를 비교하여 경제적 타당성을 확인하는 과정으로 투자비 회수기간, 내부수익률, 비용/편익 분석, 순현재가치법 등이 사용된다. 회수기간법(Payback period method)은 투자액을 연간 편익으로 나눈 회수기간에 의해 투자를 결정하는 기법이며, 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)은 투자의 결과로 발생하는 편익의 현재가치와 투자비의 현재가치를 같아지게 하는 할인율을 말한다. 즉, 투자 사업을 수행하는데 필요한 최소의 수익률을 도출하는 것을

의미한다. 비용/편익 분석법(Benefit/Cost analysis)은 투자로 인하여 발생하는 편익과 비용을 비교 평가하는 방법으로 편익의 현재가치를 투자비의 현재가치로 나누어 평가한다. 순현재가치법(Net Present Value, NPV)은 투자결과 발생하는 총 편익의 현재가치에서 투자비의 현재가치를 차감한 것을 의미한다. 최초 투자 시기부터 사업이 끝나는 시기까지의 연도별 순 현금흐름을 현재가치로 환산하여 합계하는 방식으로 구할 수 있으며, 이를 식으로 나타내면 Eq. (4)와 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (4)$$

Where, CF_t denote Net cash flow, I_0 denote Initial investment amount, T denote Project period, t denote period between 1 and T , r denote discount rate

따라서 NPV가 0보다 클 경우 해당 사업은 경제성이 확보된 것으로, 0보다 작을 경우 그렇지 않은 것으로 판단한다.

본 연구에서는 수용가에서 경제성 검토 시 최우선 고려 사항인 투자비 회수기간 분석과 대안 선택 시 명확한 기준 제시가 장점인 순현재가치법을 적용하여 경제적 타당성을 분석한다.

3. ESS 설계 프로그램

ESS를 설치 시 최적 용량산정을 위한 경제성 분석을 용이하게 할 수 있도록 작성한 프로그램을 제안하고자 한다. Python 언어를 활용하여 작성하였으며, 설계조건은 Fig. 4와 같다.

배터리 SOC는 80%, 에너지 변환 효율은 충전 및 방전 시 각 2.5%의 손실을 가정하여 95%로 설정하였다. 동작모드는 2.3절에서 기술한 ESS 운용목표에 따른 배터리 방전동작 모드를 의미하는 것으로, Peak cut 모드(Mode1)는 최대수요전력 감축을 목표로 실시간 전력사용량이 사용자가 입력한 감축목표 초과 시 방전이 시작되며, Schedule 모드(Mode2)는 전력량요금 감축 및 ESS 충전전력 전력요금 할인 효과 극대화를 위해 방전지정시간에만 방전 하도록 하였다. Hybrid 모드(Mode3)는 수용가의 전력사용특성 분석 결과를 반영해 계절별, 시간대별 운용방법을 수립한다.

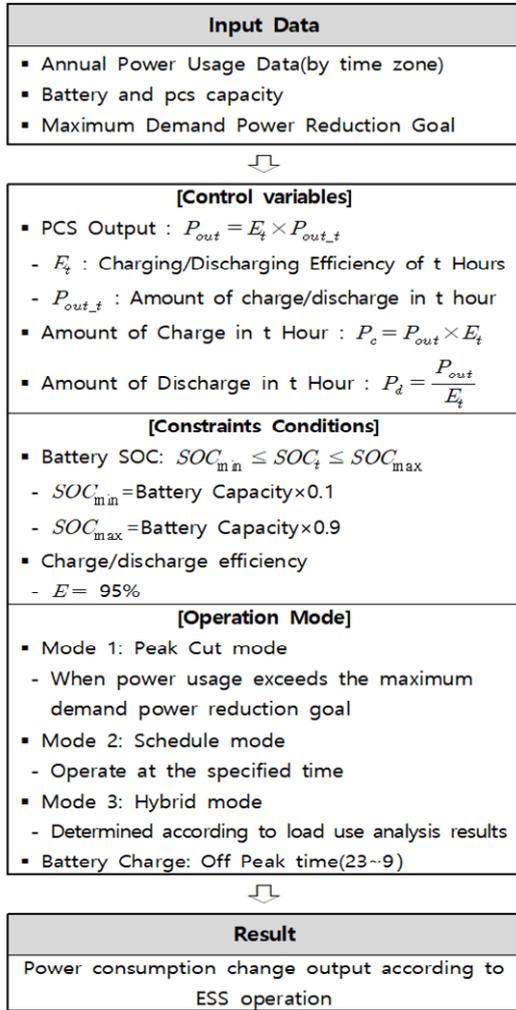


Fig. 4. Simulation Program Design Conditions

Fig. 5는 작성한 프로그램 화면으로 먼저 ① Browser를 선택하여 연간 전력사용량 데이터 파일을 불러오고, ②최대수요전력 절감목표와 배터리, PCS용량, 연차별 열화율, 사업기간을 입력하고, ③동작 모드를 선택 후, ④시뮬레이션 버튼을 선택하면 화면하단에 변화된 전력사용량, 배터리 잔량, PCS 및 배터리의 동작 상태가 시간단



Fig. 5. Captured image of Simulation Program

위로 출력된다. ⑤Save 버튼을 클릭하면 시뮬레이션 결과를 엑셀파일로 저장할 수 있다.

4. 사례연구

4.1 수용가 특성 및 부하사용 분석

사례연구 대상 기관은 4년제 대학으로 계약전력은 7,000kW이고, 적용 전력요금제는 교육용(을) 고압A-선택II이고, 전력요금의 세부내용은 Table 1과 같다. Fig. 6은 대상기관의 월별 전력사용량을 나타낸 것으로 각 그래프는 해당 월의 최대·최소·평균 전력사용량을 나타낸다. 연간 총 전력사용량은 12,006MWh이고 최대수요전력은 1월 13일 2,845kW이다.

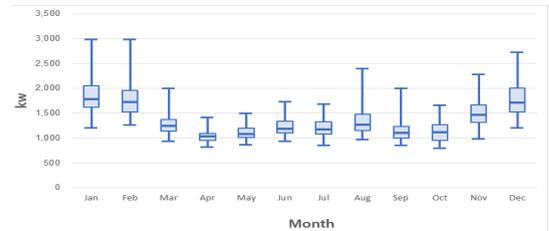


Fig. 6. Graph of Monthly Electricity Usage

계절적 특징으로는 겨울(11~2월)-여름(6~8월)-봄(3~5월)-가을(9~10월) 순으로 전력사용이 많으며, 겨울철 전력사용량은 전체의 42%를 차지한다. Table 4는 시간별 전력사용량 상위 20시간을 나타낸 것으로 모두 겨울철인 것이 특징이다. 시간대별 특성은 경부하 시간인 8시 구간이 4회(2%), 중간부하 시간인 9시, 12시~16시 구간이 118회(59%), 최대부하 시간인 10시, 11시, 17시 구간이 78회(39%) 이다.

Table 4. Top time period of Power Usage in a year

Season	Time period	Count	Classification
Winter	08:00~09:00	4	Off-Peak
Winter	09:00~10:00	35	Mid-Peak
Winter	10:00~11:00	35	On-Peak
Winter	11:00~12:00	27	On-Peak
Winter	12:00~13:00	6	Mid-Peak
Winter	13:00~14:00	16	Mid-Peak
Winter	14:00~15:00	19	Mid-Peak
Winter	15:00~16:00	19	Mid-Peak
Winter	16:00~17:00	23	Mid-Peak
Winter	17:00~18:00	16	On-Peak

시기별 전력사용 분석결과 대상기관은 Table 5와 같이 방학기간 전력사용량이 오히려 증가하는 특징을 보였다. 방학기간은 여름과 겨울철로 냉·난방기 사용량이 증가하고, 중단없는 연구 활동과 기숙사를 운영하는 기관 특성이 반영된 결과로 분석한다.

Table 5. Power consumption status by specific period

Spec		Total	Monthly average	Maximum demand Power
Semester	Week	3,687,779kW	1,287kW	2,629kW
	Weekend	1,244,529kW	1,103kW	2,044kW
Vacation	Week	3,365,379kW	1,612kW	2,846kW
	Weekend	1,094,554kW	1,303kW	1,961kW

4.2 운용 목표 및 방안 수립

부하사용 분석결과 대상 수용가에 적합한 운용 목표는 기본요금과 전력량요금 절감을 동시에 목표로 하는 혼합형(Hybrid)을 제안한다. 전력사용량이 집중된 겨울철은 최대수요전력 감축을 목표로 하고, 그 외 계절은 전력량요금 절감을 목표로 하고, 이에 따른 운용 방안은 Fig. 7과 같다.

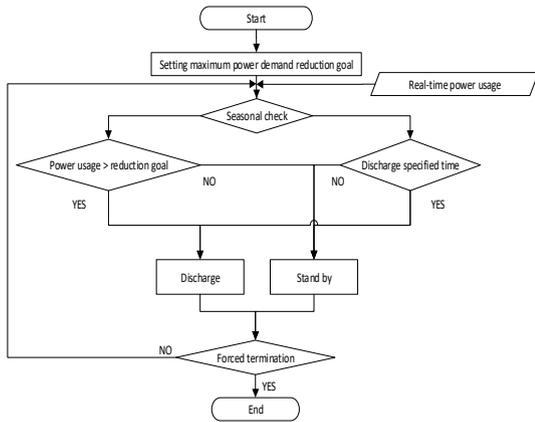


Fig. 7. Schematic diagram of ESS Operation Strategy

최대수요전력 감축을 목표로 하는 겨울철에는 실시간 전력사용량이 '최대수요절감 목표'를 초과하면 배터리 방전을 시작하고, 전력량요금 절감을 목표로 하는 그 외 계절은 최대부하전력요금 적용시간인 방전 지정시간에 배터리를 방전한다. 배터리 충전은 계절구분 없이 야간의 경부하요금 적용시간에 동작한다.

최대수요전력절감목표는 2,760kW로 설정하여 ESS 설치 전 대비 3% 감축하는 것으로 정하였으며, 배터리와 PCS 용량 후보는 절감목표를 초과한 전력사용량 196kWh에, 배터리 SOC에 따른 가중치 1.25를 적용한 250kWh, PCS는 최대수요전력에서 절감목표와의 차이인 85kW를 정규화하여 75kW를 기준용량으로 선정한다.

4.3 경제성 검토

4.3.1 시뮬레이션 결과

제안한 프로그램으로 시뮬레이션(모드3, Hybrid) 결과 최대수요전력이 발생한 1월 13일의 전력사용량 변화는 Table 6 및 Fig. 8과 같다. 11시의 전력사용량은 당초 2,845kW였으나, 최대수요전력절감목표를 85kW초과하여 배터리 방전동작이 작동되었고, 배터리는 PCS용량인 75kW를 방전하였으나, 방전효율로 인해 변화된 전력사용량은 73.2kW 감소한 2,771.8kW로 나타난다.

Table 6. Changes of Electric Charges after Installing ESS

Time	Usage	Excess Usage	Discharge	Charge	Applied
11	2845.0	85.0	75.0	0	2771.8
12	2821.2	61.2	61.2	0	2761.5
13	2806.1	46.1	46.1	0	2761.1
14	2736.9	0	0	0	2736.9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	1864.1	0	0	75.0	1937.2
1	1799.5	0	0	75.0	1872.6
2	1789.4	0	0	35.6	1824.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

연간 배터리 총·방전량은 각각 38,401kWh로 약 154cycle을 총·방전한 것을 알 수 있으며, 선행연구의 ESS 수명 4,000cycle을 반영할 시 약 25.9년간 운용이 가능할 것으로 판단된다[14].

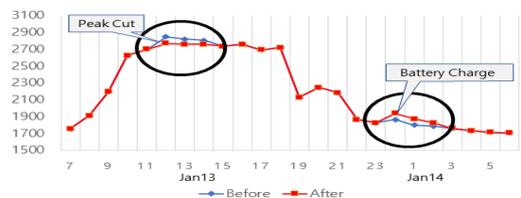


Fig. 8. Results of ESS Installation Simulation

Fig. 8은 최대수요전력절감목표 초과 시 배터리가 방전하고, 야간 경부하 전력요금 시간대에 배터리가 충전됨을 확인 할 수 있다.

ESS 설치·운영에 따른 연간 편익 분석 결과는 Table 7과 같으며, 연간편익은 최대수요전력 73.2kW감소에 따른 연간 기본요금 절감액 6,131,232원, 계절별·시간대별 전력요금 차이에 의한 전력량요금 절감액 2,479,596원, ESS 충전전력 전력요금 할인에 따른 인센티브 4,697,821원으로 총 13,308,649원으로 분석된다.

Table 7. Changes of Electric Charges after Installing ESS

Spec.	Before Installing ESS	After Installing ESS	Gap
Basic Rate(A)	₩238,297,200	₩232,165,968	₩6,131,232
Demand Charge(B)	₩921793339.2	₩919,313,742	₩2,479,596
Incentive(C)	-	4,697,821	₩4,697,821
Sum(A+B-C)	₩1,160,090,539.2	₩1,146,781,889	₩13,308,649

4.3.2 경제성 분석

선정한 ESS 용량 후보가 적정용량인지를 확인하기 위해 배터리와 PCS 각각의 용량 후보군을 선정하여 분석하였다. 용량 후보군은 배터리 250kWh, PCS 75kW를 기준용량으로 단위용량(배터리 50kWh, PCS 25kW)을 가감하여 선정하였다. 용량 후보군 조합과 연간 편익 계산결과는 Table 8, Fig. 9와 같다. 총 편익이 가장 큰 조합은 350kWh-100kW조합이고, PCS용량 100kW일 때의 조합은 배터리 용량에 관계없이 7,196,659원의 기본요금 절감을 확인하였으며, 전력량요금과 ESS 충전전력 전력요금 할인 편익은 배터리와 PCS용량이 가장 큰 350kWh-100kW조합으로 분석된다.

Table 8. Annual Benefit of the ESS Capacity Candidates

Battery PCS	250kWh	300kWh	350kWh
50kW	₩11,061,000	₩14,840,758	₩12,334,268
75kW	₩13,308,649	₩14,978,338	₩16,204,819
100kW	₩14,403,845	₩15,798,182	₩17,241,012



Fig. 9. Figure of annual benefit details (capacity candidates)

투자비 회수기간법에 따른 경제성 분석 결과는 Table 9와 같다. 설비가격은 조달청 입찰정보와 실거래가를 기준으로 배터리 500,000원/kWh, PCS 250,000원/kWh로 가정하였으며, 연간 유지보수비용은 선행연구를 참고하여 총 설치비의 1%로 가정하였다. 250kWh-100kW 조합이 11.5년으로 투자비 회수에 가장 짧은 기간이 소요되며, 350kWh-50kW조합이 16.7년으로 가장 긴 기간이 소요 될 것으로 분석된다.

Table 9. Total Investment Payback Period

Battery PCS	250kWh	300kWh	350kWh
50kW	13.74/yr	12.0/yr	16.7/yr
75kW	11.9/yr	12.4/yr	13.2/yr
100kW	11.5/yr	12.2/yr	12.8/yr

ESS 배터리 제조사의 성능유지의 보증기간인 15년을 기준으로 Eq. (4)의 순현재가치를 적용한 15년간의 총 편익은 Table 10과 같다. 할인율은 2012년~2022년간 물가상승률 평균인 1.67%를 반영하였고, 연간 유지보수비용은 투자비 회수기간법과 동일하게 총 설치비의 1%로 가정하였다.

Table 10. Total Benefit by NPV

Battery PCS	250kWh	300kWh	350kWh
50kW	₩-9,750,750	₩35,736,370	₩-30,610,980
75kW	₩34,317,235	₩30,612,570	₩20,259,785
100kW	₩43,557,675	₩35,722,730	₩28,615,180

Table 8의 연간 편익 분석에서는 350kWh-100kW 조합의 편익이 가장 큰 것으로 나타났으나, 초기설치비용이 많이 소요되어 순현재가치법에 따른 총 편익은

Table 10과 같이 250kWh-100kW이 가장 큰 것으로 분석된다. 따라서 투자비 회수기간법 및 순현재가치법에 따른 경제성 검토 결과 250kWh-100kW의 조합을 최적의 조합으로 제안한다.

사례 연구결과는 2022년 기준 ESS 보급 확대를 위한 인센티브제도 아래에서 나온 결과이며, ESS 설치에 따른 전기요금 할인과 같은 인센티브가 점차 일몰되고 있어 이후 경제성은 계속 떨어질 것으로 전망된다. ESS 설치를 장려하기 위해서는 각종 지원 정책이 연장 또는 신설·확대 되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 교육기관의 실제 연간 전력사용량 데이터를 기반으로 ESS 용량을 산정하는 기법을 제안하였다. 계절별, 월별, 시기별 등으로 특성을 분석한 다음 운용목표와 전략을 수립하고, ESS 용량 후보군을 정하여 ESS 설치·운용에 따른 효과를 검토하였다. 경제성 분석을 통해 투자비 회수기간이 가장 빠르고, 15년간 총 편익이 가장 큰 배터리 250kWh, PCS 100kW의 조합을 최적의 조합으로 제안한다.

향후에는 신재생에너지와 연계 시 적정용량 산정 방안 및 다양한 부하사용 패턴에 따른 운용전략을 수립하는 등 추가 연구를 통해 ESS 적정용량 산정방안에 대한 연구를 고도화 하고자 한다.

References

- [1] REN21 Secretariat, Renewables 2021: Global Status Report, p.370, REN21, 2021. p.52.
- [2] S. D. Ahmed, F. S. M. Al-Ismail, and M. d. Shafiullah, "Grid Integration Challenges of Wind Energy: A Review", *IEEE Access*, vol.8, pp. 10857-10878, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964896>
- [3] Amin Kargarian, Gabriela Hug, "Optimal sizing of energy storage systems: a combination of hourly and intra-hour timeperspectives", *The Institution of Engineering and Technology*, Vol. 10, Iss. 3, pp. 594-600, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0031>
- [4] Laurent Bridier, David Hernandez-Torres, Mathieu David, Phillipe Lauret, "A heuristic approach for optimal sizing of ESS coupled with intermittent renewable sources systems", *Renewable Energy*, Vol. 91, pp. 155-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.renene.2016.01.021>
- [5] Hussam J. Khasawneh, Abrez Mondal, Mahesh S. Illindala, "Evaluation and Sizing of Energy Storage Systems for Microgrids", *2015 IEEE/IAS 51st Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*, IEEE, Calgary, AB, Canada, May 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPS.2015.7266408>
- [6] Sung-in Lee, "Economic analysis and policy implications of energy storage systems", Technical Report, Korea Energy Economics Institute, KOREA, p86.
- [7] Young-Sang Yoon, Jae-Hyun Choi, Yong-Lak Choi, Yongtae Shin, Jong-bae Kim, "A Study on the Economic Analysis Method of Energy Storage System", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.19, No.3, pp. 596-606, Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.3.596>
- [8] Jae-Haeng Heo, Seungkwon Shin, Jong-young Park, Hyeongig Kim, "Study on the Optimal Operation of ESS Considering Urban Railway Load Characteristic", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 64, No. 10, pp. 1508 ~ 1516, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.10.1508>
- [9] Kyeong-Hee Cho, Seul-Ki Kim, Eung-Sang Kim, "Optimal Capacity Determination Method of Battery Energy Storage System for Demand Management of Electricity Customer", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 62, No. 1, pp. 21~28, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.62.1.021>
- [10] Yong-Gi Park, Kyoung-Min Kwon, Sung-Soo Lim, Jong-Bae Park, "Electric Bill Minimization Model and Economic Assessment of Battery Energy Storage Systems Installed in a Non-residential Customer", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 65, No. 8, pp. 1347 1354, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.8.1347>
- [11] Management Research Institute, Power consumption behavior analysis, p.57, Korea Electric Power Corporation, 2018. pp.34~35.
- [12] Korea Electric Power Corporation Electricity Supply Terms and Conditions, <https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/D/C/CYDCHP00101.jsp>, Nov. 2022.
- [13] Jong-young Park, Hosung Jung, Hyungchul Kim, Seungkwon Shin, "Capacity Determination of ESS for Peak Load Shaving Based on the Actual Measurement of Loads in the Substation of Urban Railway", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 6, pp. 860 ~ 865, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.6.860>
- [14] Hye-Jin Lee, Jeong-Won Choi, "Calculation of Photovoltaic, ESS Optimal Capacity and Its Economic Effect Analysis by Considering University Building Power Consumption", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol 21, pp. 207-217, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21289/KSIC.2018.21.5.207>

안 정 운(Jeong Woon Ahn)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2023년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기·전자·통신공학과 전기공학전공 (공학석사)
- 2015년 8월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 재직

<관심분야>

신재생에너지, 전기안전

오 용 택(Yong-Taek Oh)

[정회원]



- 1980년 2월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학사)
- 1982년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1987년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1979년 12월 ~ 1991년 3월 : 한국전력공사 정보처리처 과장
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기·전자·통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전계통, 전력품질해석, 보호협조