

## 대학건물의 전력소비패턴 분석을 통한 태양광, ESS 적정용량 산정 및 경제적 효과 분석

### Calculation of Photovoltaic, ESS Optimal Capacity and Its Economic Effect Analysis by Considering University Building Power Consumption

이혜진<sup>1\*</sup>, 최정원<sup>2</sup>

Hye-Jin Lee<sup>1\*</sup>, Jeong-Won Choi<sup>2</sup>

#### 〈Abstract〉

Recently, the importance of energy demand management, particularly peak load control, has been increasing due to the policy changes of the Second Energy Basic Plan. Even though the installation of distributed generation systems such as Photovoltaic and energy storage systems (ESS) are encouraged, high initial installation costs make it difficult to expand their supply. In this study, the power consumption of a university building was measured in real time and the measured power consumption data was used to calculate the optimal installation capacity of the Photovoltaic and ESS, respectively. In order to calculate the optimal capacity, it is necessary to analyze the operation methods of the Photovoltaic and ESS while considering the KEPCO electricity billing system, power consumption patterns of the building, installation costs of the Photovoltaic and ESS, estimated savings on electric charges, and life time. In this study, the power consumption of the university building with a daily power consumption of approximately 200kWh and a peak power of approximately 20kW was measured per minute. An economic analysis conducted using these measured data showed that the optimal capacity was approximately 30kW for Photovoltaic and approximately 7kWh for ESS.

*Keywords : Peak load, Photovoltaic, PV, Energy Storage System, ESS, Optimal capacity, Power consumption*

---

1\* 이혜진, 영남이공대학교, 전기자동화과 선임연구원,  
E-mail: hyejin1634@naver.com

2 최정원, 영남이공대학교, 전기자동화과 교수

1\* Dept. of Electrical Automatic Engineering

2 Department of Electrical Automatic Engineering

## 1. 서론

에너지 관련 최상위 정부 정책인 제2차 에너지 기본계획(14)에 따라 에너지의 공급 관리에서 수요관리로 정책의 무게중심이 이동하면서 에너지 수요관리에 대한 관심이 커지고 있다[1]. 또한, 에너지 이용합리화법에서는 2,000TOE 이상 에너지 다소비 대형건물은 에너지의 효율적 사용을 강제하고 있다. 다소비 대형건물의 수는 매년 5~6% 늘어나고 있고, 그것의 전력 소비량은 6~10%로 타 에너지원에 비해 더욱 빠르게 증가되는 것으로 보고된다[2].

대형건물의 에너지 수요관리에 관한 연구는 전체 에너지 사용량 절약과 최대부하 시간대의 피크 부하 억제로 구분된다[3]. 특히 피크부하 억제는 시간대별 전력 사용량의 불균형에도 불구하고 예비전력을 확보해야 하는 전력운영환경 때문에 더욱 중요하게 인식된다. 한전은 피크부하 억제를 위하여 다양한 요금 제도를 활용하고 있는데, 그 예로 산업용 및 교육용에 계약전력 전기요금체계를 활용한다. 계약전력은 사업자별 최대 수요량을 정하고 그것을 반영하여 기본요금을 산정하고, 초과 사용 시 위약금을 부과하는 전력수요 기준이다. 또한 경부하, 중간부하, 최대부하 사용 시간대를 구분하여 요금을 각각 다르게 부과함으로써 피크부하억제를 유도한다.

전력의 피크부하 억제를 위해서 신재생에너지 활용 및 ESS 활용 등 다양한 연구가 이뤄지고 있다[4]. 신재생에너지와 ESS를 활용할 경우, 초기 투자비용이 높기 때문에 경제성 분석을 통한 적정 용량을 산정하여야 한다. 적정 용량은 신재생에너지원과 ESS의 수명에 따른 전기 요금 절약 비용과 초기 설치비용을 비교하여 선정할 수 있다. 또한 연간 전기 요금 절약 비용과 초기 설치비용을 비교하면 투자비용 회수기간을 구할 수 있다.

대형건물 중 13.6%의 비중을 차지하는 대학 건물은 1980년~2000년에 집중적으로 생겨 대부분 노후화되어 있어 에너지 효율이 낮다[5]. 본 연구에서는 임의의 대학 건물의 실시간 전력 사용량을 측정하여 건물에 설치가 용이한 신재생에너지원인 태양광과 ESS의 최적 용량을 산정하였다.

## 2. 전기요금 체계

### 2.1 계절별·시간대별 구분

전기 요금에서는 Table 1과 같이 계절별, 시간대별로 전력량 요금이 달라진다. 6~8월까지를 여름, 3~5월 그리고 9~10월은 봄·가을, 11~2월은 겨울로 간주한다. 봄·가을과, 여름의 최대부하시간대는 전력수요가 가장 많은 10:00~12:00와 13:00~17:00이고 겨울은 10:00~12:00, 17:00~20:00, 22:00~23:00로 다소 차이가 있다.

Table 1. Electric charges seasonal · time division

계절별 시간대별	여름 (6~8월)	봄·가을 (3~5월, 9~10월)	겨울 (11~2월)
경부하	23:00~ 09:00	23:00~ 09:00	23:00~ 09:00
중간부하	09:00~ 10:00 12:00~ 13:00 17:00~ 23:00	09:00~ 10:00 12:00~ 13:00 17:00~ 23:00	09:00~ 10:00 12:00~ 17:00 20:00~ 22:00
최대부하	10:00~ 12:00 13:00~ 17:00	10:00~ 12:00 13:00~ 17:00	10:00~ 12:00 17:00~ 20:00 22:00~ 23:00

최대부하 때 전력량 요금이 제일 비싸므로 최대부하 때 사용을 줄이는 것이 전기 요금을 줄이는 데 도움이 된다.

## 2.2 교육용 전기요금 체계

한전 요금 체계에는 주택용, 일반용, 교육용, 산업용 등으로 구분된다. 본 논문에서는 실제 영남

Table 2. Educational electric charges system  
교육용 전력(갑)

구분	기본 요금 (원/ kW)	전력량 요금 (원/kWh)			
		여름	봄·가을	겨울	
저압전력	5,230	96.9	59.7	84.1	
고압 A	선택 I	5,550	96.6	59.8	82.6
	선택 II	6,370	92.1	55.4	78.1
고압 B	선택 I	5,550	95.9	59.4	81.8
	선택 II	6,370	91.4	54.9	77.3

교육용 전력(을)

구분	기본 요금 (원/kW)	시간대	전력량 요금 (원/kWh)		
			여름	봄·가을	겨울
고압 A	6,090	경부하	49.8	49.8	53.8
		중간부하	94.5	64.2	93.0
		최대부하	160.4	84.7	131.7
	6,980	경부하	45.3	45.3	49.3
		중간부하	90.0	59.7	88.5
		최대부하	155.9	80.2	127.2
고압 B	6,090	경부하	48.3	48.3	52.1
		중간부하	91.8	62.5	90.1
		최대부하	154.7	82.3	127.4
	6,980	경부하	43.8	43.8	47.6
		중간부하	87.3	58.0	85.6
		최대부하	150.2	77.8	122.9

이공대학교 전기관의 전기 사용량을 측정하였기 때문에 교육용 전기요금 체계에 대해 나타내었다. 교육용 전기요금 체계에서는 교육용 전력(갑)과 교육용 전력(을)로 구분된다. 교육용 전력(갑)은 계약 전력 1,000kW 미만인 경우 적용되고, 계약전력 1,000kW 이상 일 경우 교육 전력(을)을 적용한다.

교육용 전력은 Table 2와 같이 고압 A와 B로 구분되는데, 고압 A의 경우 표준 전압 3,300V, 66,000V 이하에 적용이 되며, 고압 B의 경우 표준 전압 154,000V에 적용이 된다. 고압의 경우 선택 I과 선택 II로 구분되는데, 선택 I은 기본요금이 낮고 전력량 요금이 높으므로 전기 사용시간이 월 200시간 이하일 경우 유리하고, 선택 II는 기본요금이 선택 I보다 높으며 반대로 전력량 요금은 낮으므로 전기 사용시간이 월 200시간 초과인 경우에 유리하다. 본 논문에서는 교육용 전력(을)과 고압 A-선택 I을 적용하였다.

전기 요금 계산은 ① 기본요금(원단위 미만 절사), ② 사용량 요금(원단위 미만 절사), ③ 전기요금계=기본요금+사용량요금, ④ 부가가치세(원단위 미만 4사 5입)=③×10%, ⑤ 전력산업기반기금(10원 미만 절사)=③×3.7%, ⑥ 청구요금 합계(10원 미만 절사)=③+④+⑤의 순서로 계산한다.

Table 3. Example of electric charges system

부하	전력량 (kWh)	전력량 요금 (원/kWh)
경부하	40	49.8
중간부하	60	94.5
최대부하	100	160.4
합계	200	

\*계약전력 : 20kW가정

Table 3은 계약전력이 20kW이며 경부하 시간대 40kWh, 중간부하 60kWh, 최대부하 100kWh, 총 200kWh를 여름철에 사용한다고 가정한 것이

다. 이때 전기 요금은

- ① 기본요금 = 20kW(계약 전력)×6,090원 =121,800원
- ② 사용량 요금 = 40kWh×49.8원 +60kWh×94.5원+100kWh×160.4원 = 23,702원(원단위 미만 절사)
- ③ 기본요금+사용량 요금=121,800원+23,702원 =145,502원
- ④ 부가가치세 = 145,502원×0.1=14,550원(원단위 미만 4 사 5입)
- ⑤ 전력산업기반 기금 = 145,502원 ×0.037=5,380원(10원 미만 절사)
- ⑥ 청구요금 합계 = 145,502원+14,550원 +5,380원=165,430원(10원 미만 절사)이다.

### 2.3 ESS 전기요금 할인 제도

한전은 ESS 보급 확대를 위해 2016.4.1.~2026.3.31.까지 ESS 할인 제도를 실시하고 있어서 기본요금 및 충전전력 요금에 대해 추가 할인된다.

ESS 추가 할인 금액 = 기본요금 할인금액(A)+ 충전전력 요금 할인금액(A')

$$A = \frac{B - C}{D \times 3\text{시간}} \times \text{기본요금 단가}$$

$$A' = (B - C) \times \text{경부하요금 단가} \times 0.1$$

여기서,

A: 기본요금 할인 금액

A': ESS 충전전력 요금 할인 금액

B : 해당 월 평일 최대부하 시간대 방전량 합계

C : 해당 월 평일 최대부하 시간대 충전량 합계

B - C : 평균최대수요전력감축량(kW)

D : 해당 월 평일 일수

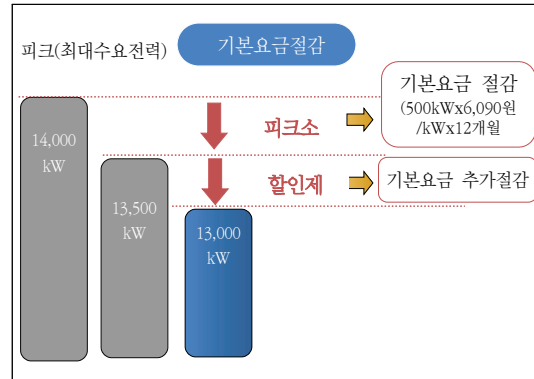


Fig. 1 Electric charges discount by ESS

기본요금 할인금액(A)은 평균 최대 수요전력 감축량(B-C)에 기본요금 단가를 곱한 만큼 할인된다. ESS 충전전력 요금 할인금액(A')은 경부하시간대 에너지 저장 장치에 충전하기 위한 전력량 요금의 10%를 할인한다.

ESS 피크 감축량에 해당하는 기본요금과 충전전력 요금을 할인하고 있으나 투자비 부담 등으로 인해 ESS 보급 실적이 저조하여 2017.1.1.부터 2020.12.31.까지는 ESS 기본요금 할인의 3배 할인 및 ESS 전력 경부하 충전 시 50% 할인을 적용한다. 또한 계약전력 대비 ESS 배터리 용량 비율에 따라 할인 금액을 차등 적용하여 계약전력 대비 ESS 배터리 용량 비율이 10% 이상인 경우, 충전전력 요금 할인금액(A')을 20% 추가 할인한다. 본 논문에서는 2020년까지 한시적으로 운영하는 할인 제도는 적정 용량 산정 시 반영하지 않는다.

### 3. 대학건물 전력 사용량 측정

영남이공대학교 전기관은 약 400명 학생이 이용하는 건물로서 주간 5개 반, 야간 1개 반 운영으로 학기 중에 주말을 제외한 평일은 비슷한 전

력 사용량 패턴을 가지고 있다. 전기관은 전기과 및 전자과가 같이 사용하고 있으며, 4개 층으로 구성되어 있다. 1,2층 실험 실습실, 3층 교수 연구실, 4층은 강의실로 구성되어있다. 건축면적은 867.24m<sup>2</sup>이고 연 면적은 3303.36m<sup>2</sup>이다.

전기관에 전력 센서를 설치하여 약 1년간 전력을 측정해왔다(0.1초 단위 데이터 측정, 인지율 99.3%). 측정한 데이터 중 주말을 제외한 1학기, 여름방학, 2학기, 겨울방학으로 분류하여 각 기간에 대하여 대표적인 날짜를 뽑아서 본 논문에 활용하고자 한다. Fig 2, Fig 4와 같이 1학기과 2학기는 수업 시작인 9시부터 20시까지 전력 사용량이 나타나며, 점심시간에는 전력 사용량이 줄어드는 모습을 확인할 수 있다. Fig 3, Fig 5와 같이

여름방학과 겨울방학은 수업이 없는 관계로 시간대별 전력 사용량이 비슷하다.

1학기 하루 전력 사용량은 193.98kWh이며, 피크전력은 오전 10시에 17.10kW이다. 여름방학 하루 전력 사용량은 67.04kWh이며, 수업이 없는 관계로 전력 사용량이 거의 비슷하다. 2학기 하루 전력 사용량은 210.98kWh이며 피크전력은 오전 11시에 19.27kW이다. 겨울방학 하루 전력 사용량은 114.97kWh이다. 계약전력은 각 기간의 전력 사용량 중 가장 높은 값인 19.27kW를 바탕으로 20kW로 설정하였다.

실제 사용전력

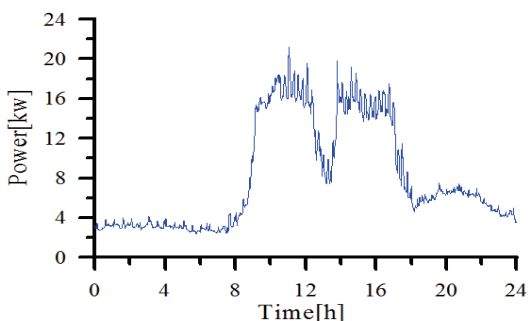


Fig. 2 Power usage of 1<sup>st</sup> semester (2018.05.09.)

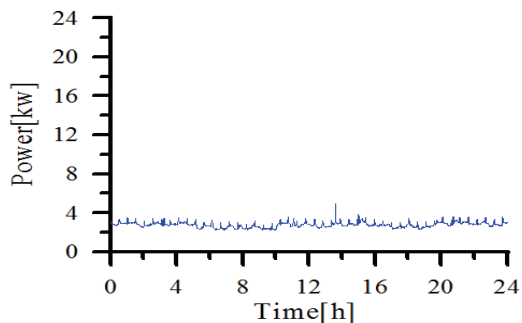


Fig. 3 Power usage of summer vacation (2018.07.09.)

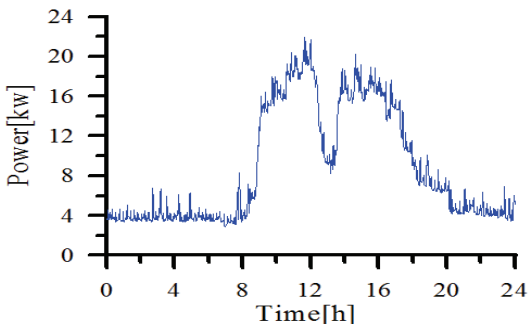


Fig. 4 Power usage of 2nd semester (2017.10.25.)

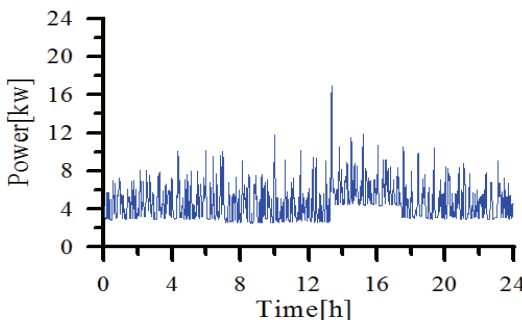


Fig. 5 Power usage of winter vacation (2018.01.08.)

### 4. 태양광 발전 적용

#### 4.1 태양광 운영 Process

전력의 피크부하 억제를 위해서 첫 번째로 신재생에너지 중 태양광발전 운영을 가정하고 최적 용량을 산출한다. 태양광발전은 햇빛을 이용한 발전으로, 일조량이 태양광 이용률에 큰 영향을 끼

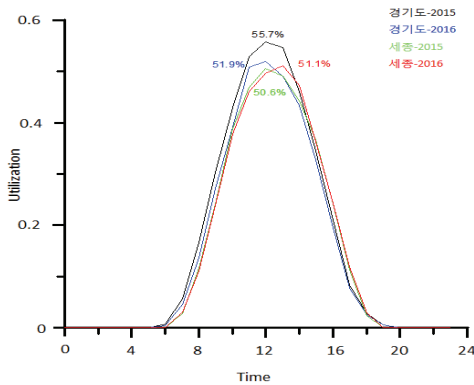


Fig. 6 PV Utilization rate by time[6]

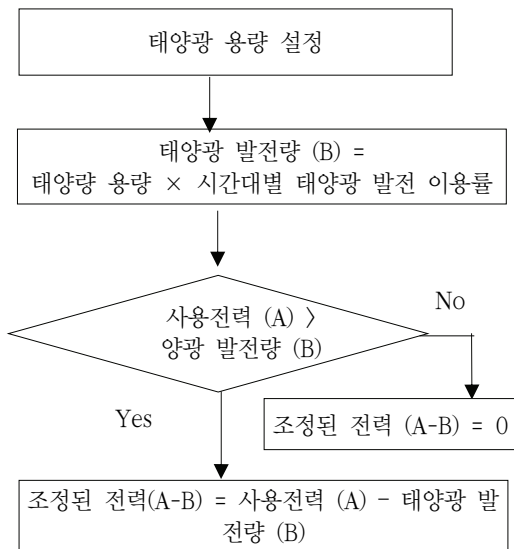


Fig. 7 Algorithm of Photovoltaic

친다. Fig 6 은 2015년, 2016년 경기도와 세종시에 대한 태양광 발전 이용률을 나타낸 것이다.[6]

Fig 7은 태양광발전 적용 및 운영 과정을 나타낸 것이다. 먼저 태양광 용량을 설정한 다음, 시간대별 태양광 이용률을 적용하여 태양광 발전량 (B)을 구한다. 태양광 발전(B)이 사용전력(A)보다 큰 경우에는 사용전력 전체를 태양광 발전이 대체

Table 4. 1<sup>st</sup> semester's power using 10kW PV

시간	부 하	사용전력 (A) (kWh)	태양광 발전 및 사용량 (B)	조정된 전력 (A-B)
0	경 부 하	3.09	0.00	3.09
1	경 부 하	3.29	0.00	3.29
2	경 부 하	3.17	0.00	3.17
3	경 부 하	3.28	0.00	3.28
4	경 부 하	3.15	0.00	3.15
5	경 부 하	2.79	0.00	2.79
6	경 부 하	2.83	0.05	2.77
7	경 부 하	3.18	0.45	2.73
8	경 부 하	5.69	1.37	4.32
9	중간부하	15.03	2.71	12.32
10	최대부하	17.10	3.91	13.19
11	최대부하	17.05	5.08	11.97
12	중간부하	13.40	5.19	8.21
13	최대부하	11.24	4.90	6.33
14	최대부하	16.21	4.33	11.88
15	최대부하	15.16	3.27	11.89
16	최대부하	15.24	1.95	13.29
17	중간부하	8.71	0.78	7.93
18	중간부하	5.55	0.26	5.29
19	중간부하	6.38	0.06	6.32
20	중간부하	6.77	0.00	6.77
21	중간부하	6.32	0.00	6.32
22	중간부하	5.10	0.00	5.10
23	경 부 하	4.26	0.00	4.26
합계		193.98	34.31	159.67

하여 조정된 전력(A-B) 즉, 한전에서 공급하는 전기 사용량은 0이 된다. 태양광 발전(B)이 사용전력(A)보다 작은 경우의 조정된 전력(A-B)은 사용전력에서 태양광 발전량을 제한한다.

Table 4는 1학기의 특정 날짜를 대상으로 태양광 10kW 적용, 2016년도 경기도 태양광 발전량 이용률 적용 시 시간대별로 태양광 발전량(B)을 계산하였고, 사용전력(A)에서 태양광 발전량(B)을 제한 값으로 조정된 전력(A-B)을 구하였다. 태양광 10kW 사용 시 1학기 사용전력 193.98kWh에서 159.97kWh로 감소하였다.

10kW 태양광을 적용하면 사용전력(A)보다 발전량(B)이 적어 발전된 양을 모두 사용하였지만, 태양광 용량이 커질수록 발전량(B)이 증가하여 사용전력(A)보다 커지는 경우가 많아진다. 이때는 태양광 발전량(B)을 모두 사용하여 조정된 전력(A-B)이 0이 되는 경우가 많아진다. 즉, 태양광 용량이 커질수록 조정된 전력(A-B)의 합계가 감소한다.

태양광발전 적용 시, 이처럼 피크부하 시간대에 태양광 발전을 사용하기 때문에 피크부하 억제 및 전체적인 사용전력이 감소된다.

### 4.2 태양광 적정용량 산정

앞의 3장에서 학기마다 정한 특정 날짜의 사용전력을 1학기는 3월~6월, 여름방학은 7월~8월, 2학기는 9월~12월, 겨울방학은 1월~2월로서 해당하는 기간 전체에 적용한다. 계절과 시간에 따라 요금 차이가 다르기 때문에 그에 맞게 분류하여 계산에 적용하였다. 이때 계약전력은 연간 전력 사용량 중 가장 큰 20kW로 설정하였다.

계산한 전기 요금은 Table 5와 같이 봄·가을철 3,129,280원, 여름철 1,619,840원, 겨울철 2,655,980원으로 영남이공대학교 전기관의 연간 예상 전기 요금은 7,405,100원이다.

Table 5. Expected electric charges

계절	한 달 요금 × 개월 수
봄·가을	3,129,280
여름	1,619,840
겨울	2,655,980
<b>합계</b>	<b>7,405,100</b>

Table 6. Payback period by PV

PV 용량	태양광 설치비용	절약 비용	투자비용 회수기간	20년간 절약비용	절약비용-설치비용
1kW	1,650,000	207,500	7.95	4,150,000	2,500,000
2kW	3,300,000	331,970	9.94	6,639,400	3,339,400
3kW	4,950,000	456,440	10.84	9,128,800	4,178,800
4kW	6,600,000	663,970	9.94	13,279,400	6,679,400
5kW	8,250,000	788,420	10.46	15,768,400	7,518,400
6kW	9,900,000	995,900	9.94	19,918,000	10,018,000
7kW	11,550,000	1,117,890	10.33	22,357,800	10,807,800
8kW	13,200,000	1,227,170	10.76	24,543,400	11,343,400
9kW	14,850,000	1,418,550	10.47	28,371,000	13,521,000
10kW	16,500,000	1,524,750	10.82	30,495,000	13,995,000
20kW	33,000,000	2,734,430	12.07	54,688,600	21,688,600
30kW	49,500,000	3,648,110	13.57	72,962,200	23,462,200
40kW	66,000,000	4,309,510	15.31	86,190,200	20,190,200
50kW	82,500,000	4,794,050	17.21	95,881,000	13,381,000
60kW	99,000,000	5,103,550	19.40	102,071,000	3,071,000
70kW	115,500,000	5,242,760	22.03	104,855,200	-10,644,800
80kW	132,000,000	5,325,750	24.79	106,515,000	-25,485,000
90kW	148,500,000	5,361,670	27.70	107,233,400	-41,266,600
100kW	165,000,000	5,390,600	30.61	107,812,000	-57,188,000

Table 6과 같이 태양광 설치비용은 1kW당 1,650,000원이며 태양광 설치 시 전기 요금 절약 비용은 영남이공대학교 전기관의 연간 예상 전기 요금 7,405,100원에서 태양광을 적용하였을 경우의 전기 요금을 뺀 금액이다. 태양광 용량에 따라 계약전력이 변경되도록 설정하여 전기 요금이 감소하도록 하였다. 투자비용 회수기간은 태양광 설치비용에서 연간 절약 비용 합계를 나눈 값이다.

투자비용 회수기간은 1kW 일 때가 7.95년으로 가장 짧다. 이때 태양광 설치비용은 1,650,000원이며 절약 비용 합계는 207,500원이다. 10kW 이후 태양광 용량이 커질수록 투자비용 회수기간도 늘어난다.

태양광발전의 평균 수명은 약 20년 정도로 알려져 있다[7]. 20년간의 전기 요금 절약비용을 계산하여 설치비용과 비교하였을 경우에는 30kW가 설치비용 대비 절약 비용이 23,462,200원으로서 가장 합리적이다. 태양광 30kW 설치 시 계약전력은 20kW에서 14kW로 조정하였다.

Fig 8의 검은색 그래프는 영남이공대학교 1학기 전기 사용량을 나타낸 것이고 나머지 그래프는 태양광 용량 별 조정된 전력이다. 전체적인 전력 값 및 피크 값이 낮아지므로 전기 요금을 줄일 수 있다.

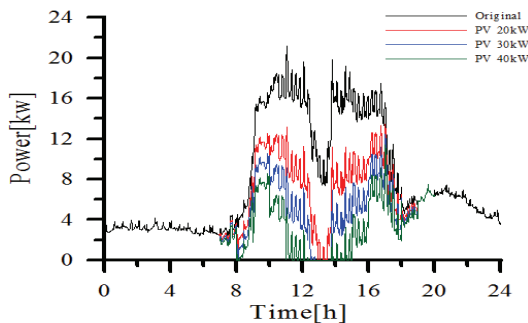


Fig. 8 Graph of 1<sup>st</sup> semester's power using 20kW, 30kW, 40kW PV

## 5. ESS 적용

### 5.1 ESS 운영 Process

전력의 피크부하 억제를 위해서 두 번째로 ESS 운영에 대해 연구하였다. ESS 용도는 세 가지로

구분할 수 있다. 첫 번째, 주파수 조정에 적용 방법으로서 규정 주파수 초과 시 충전하고 규정 주파수 미달 시 방전한다. 두 번째, 신재생에너지의 불안정한 출력을 보장하여 평활화한다. 세 번째, 경부하 시 충전하고 최대부하 시 방전하여 피크를 감소시킨다. 본 논문에서는 피크 감소 방법을 사용하였다.

ESS 용량을 지정한 후 사용전력을 Peak-cut하는 적정 전력을 산정하여 사용전력(A)이 적정 전력보다 큰 경우 ESS 방전량(B)을 사용하도록 하였다. 이때, 연간 사용전력(A)이 다르기 때문에 적정 전력을 구하기 위해서는 사용전력 합계에서 ESS 용량을 뺀 값에 대한 평균을 구한다. 그 후 그 값보다 큰 사용전력에 대해서 동일한 방법으로 평균을 구한다. 이렇게 4번에 걸쳐 평균을 구하면 적정 전력을 구할 수 있다. 이렇게 구해진 적정 전력보다 큰 사용전력(A)에 대해서는 ESS 방전량(B)을 사용하고 경부하 시간 때에 충전한다. 총 ESS 방전량(B)과 ESS 충전량(C)은 ESS 용량과 동일하다. 이때 사용전력 값에 ESS 충전량(C)을 더하고 ESS 방전량(B)을 뺀 값이 적정 전력을 넘지 않도록 한다.

Table 7은 1학기 사용 전력량에 대해 ESS 10kWh를 적용한 표이다. ESS는 태양광발전처럼 조정된 전력이 줄어드는 것이 아니라, ESS를 이용하여 요금이 제일 싼 경부하 때 충전을 하고, 요금이 비싼 최대부하 시간에 방전하기 때문에 사용 전력(A)과 조정된 전력(A+C-B)의 합계를 보면 동일하다.

ESS를 사용하게 되면, 용량에 따라 적정 전력을 산정하여 계약전력을 줄이면 그에 따라 기본요금이 감소하고, 피크전력이 감소하여 그에 따른 사용량 요금이 줄고, 또한 ESS 할인제를 통해 요금 추가 할인이 가능하다.



Table 7. 1<sup>st</sup> semester's power using 10kWh ESS

시간	부하	사용 전력 (A)	ESS 방전 (B)	ESS 충전 (C)	조정된 전력 (A+C-B)
0	경 부 하	3.09	0.00	10.00	13.09
1	경 부 하	3.29	0.00	0.00	3.29
2	경 부 하	3.17	0.00	0.00	3.17
3	경 부 하	3.28	0.00	0.00	3.28
4	경 부 하	3.15	0.00	0.00	3.15
5	경 부 하	2.79	0.00	0.00	2.79
6	경 부 하	2.83	0.00	0.00	2.83
7	경 부 하	3.18	0.00	0.00	3.18
8	경 부 하	5.69	0.00	0.00	5.69
9	중간부하	15.03	0.73	0.00	14.30
10	최대부하	17.10	2.80	0.00	14.30
11	최대부하	17.05	2.75	0.00	14.30
12	중간부하	13.40	0.00	0.00	13.40
13	최대부하	11.24	0.00	0.00	11.24
14	최대부하	16.21	1.91	0.00	14.30
15	최대부하	15.16	0.86	0.00	14.30
16	최대부하	15.24	0.94	0.00	14.30
17	중간부하	8.71	0.00	0.00	8.71
18	중간부하	5.55	0.00	0.00	5.55
19	중간부하	6.38	0.00	0.00	6.38
20	중간부하	6.77	0.00	0.00	6.77
21	중간부하	6.32	0.00	0.00	6.32
22	중간부하	5.10	0.00	0.00	5.10
23	경 부 하	4.26	0.00	0.00	4.26
합계		193.98	10.00	10.00	193.98

## 5.2 ESS 적정용량 산정

ESS 수명은 충·방전 횟수에 따라 결정된다. 본 논문에서는 4000Cycle로 충·방전할 수 있다고 가정하였다[8,9]. 그래서 전력 소모가 적은 여름방학과 겨울방학에는 사용하지 않는다. 여름방학과 겨울방학을 제외하면 ESS 수명은 약 16.67

Table 8. Payback period by ESS

ESS 용량	ESS 설치 비용	절약 비용	투자비용 회수기간	16년간 절약비용	절약비용-설치비용
1kWh	666,667	115,270	5.78	1,921,167	1,254,500
2kWh	1,333,333	231,570	5.76	3,859,500	2,526,167
3kWh	2,000,000	345,470	5.79	5,757,833	3,757,833
4kWh	2,666,667	377,210	7.07	6,286,833	3,620,167
5kWh	3,333,333	408,150	8.17	6,802,500	3,469,167
6kWh	4,000,000	438,400	9.12	7,306,667	3,306,667
7kWh	4,666,667	550,860	8.47	9,181,000	4,514,333
8kWh	5,333,333	579,910	9.20	9,665,167	4,331,833
9kWh	6,000,000	607,640	9.87	10,127,333	4,127,333
10kWh	6,666,667	634,800	10.50	10,580,000	3,913,333
20kWh	13,333,333	1,059,570	12.58	17,659,500	4,326,167
30kWh	20,000,000	1,386,650	14.42	23,110,833	3,110,833
40kWh	26,666,667	1,714,210	15.56	28,570,167	1,903,500
50kWh	33,333,333	2,042,050	16.32	34,034,167	700,833
60kWh	40,000,000	2,229,460	17.94	37,157,667	-2,842,333

년이다.

Table 8을 참고하면 ESS 설치비용은 1kWh 당 666,667원이며 표의 절약 비용은 원래의 연간 전기 요금에서 1학기, 2학기에 ESS를 적용하여 할인된 금액을 나타내었다.

투자비용 회수기간은 ESS 설치비용에서 절약 비용 합계를 나눈 값이다. ESS 투자비용 회수기간은 2kWh 때가 5.76년으로 가장 짧으며, ESS 설치비용은 1,333,333원이며 전기 요금 절약 비용은 231,570원이다. 9kWh 용량 이후로는 용량이 커질수록 투자비용 회수기간도 늘어난다. 현재 추가적인 ESS 요금 할인 제도를 적용하면 투자비용 회수기간은 더욱 짧아진다. 또한, 수명이 다할 때까지의 전기 요금 절약비용 합계를 계산하여 설치 비용과 비교하였다. 투자비용 회수기간은 2kWh 시 5.76년으로 가장 짧지만, 설치비용 대비 약 16.67년간의 전기 요금 절약 비용은 7kWh가 4,514,333원으로 가장 합리적이다. ESS 7kWh 설치

시 계약전력은 20kW에서 16kW로 조정하였다.

Fig 9.의 검은색 선은 원래의 전력 사용량을 표시한 것이고, 빨간색 선은 10kWh ESS를 설치하여 Peak 치가 조정된 그래프이다.

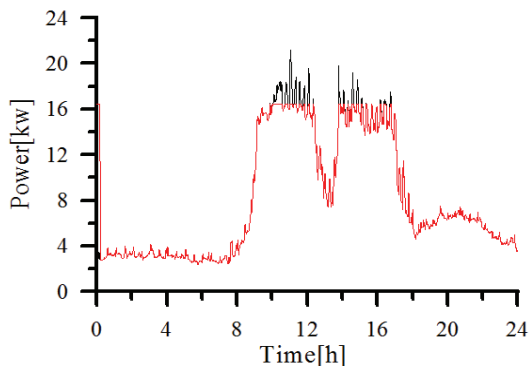


Fig. 9 Graph of 1<sup>st</sup> semester's power using 10kWh ESS

## 6. 결론

태양광발전 적용 시, 태양광 발전으로 생성된 전력을 사용하여 전체적인 전기 사용량을 낮추었고, ESS 적용 시, Peak-cut을 통해 피크치를 감소하였다. 감소된 전력을 통해 투자비용 회수기간을 구하고, 태양광 발전과 ESS의 수명에 따른 절약 비용 합계와 투자비용을 비교하여 최적의 용량을 선정하였다.

영남이공대학교 전기관에 피크전력 20kW의 5%에 해당하는 태양광발전 1kW를 설치하였을 경우, 설치비용은 1,650,000원이며 절약 비용 합계는 207,500원으로 투자비용 회수기간은 약 7.95년으로 가장 짧으며 태양광 수명인 20년을 반영하여 절약되는 전기 요금 합계와 투자비용을 비교하여 구한 태양광 발전의 최적 용량은 30kW이다.

ESS는 피크전력 20kW의 10%에 해당하는

2kWh 설치 시, 설치비용은 1,333,333원이며 전기 요금 절약 비용은 231,570원으로 투자비용 회수기간은 약 5.76년으로 제일 짧다. 전력 사용이 많이 없는 여름방학, 겨울방학에는 ESS를 사용하지 않을 경우 ESS 수명은 약 16.67년이다. 수명 동안 절약되는 전기 요금 합계와 투자비용을 비교하면 7kWh가 최적 용량이다. 본 논문에서는 현재 변경된 정책을 반영하지 않고, 투자비용 회수기간을 구하였기 때문에 2020년까지 추가 할인 내용을 적용한다면 ESS투자비용 회수기간은 더욱 짧아진다. 그리고 앞으로 ESS 설치비용이 줄어들 것으로 예상되는데, 설치비용이 줄어들면 투자비용 회수기간이 짧아질 것이다.

본 논문의 한계점은 태양광 발전과 ESS를 접목하여 실현하지 못하였다. 두 가지를 적용할 경우, 다양한 운영방법이 있기 때문에 각각의 태양광 발전에 대한 내용과 ESS에 대한 내용을 2가지로 나누었다. 더 나아가 태양광 발전과 ESS를 같이 접목한 연구가 필요하다.

## Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지수요관리핵심기술사업 지원을 받아 수행한 연구입니다. (No.20162020108170, No.20172010106100)

## 참고문헌

- [1] Sang-Hyeon Jin, "Definition and Application of the Concept of Distributed Heat Energy : Focusing on the Green Heat Project," Journal of Environmental Policy and Administration, Vol.

- 24, No. 3, pp. 131~160, (2016).
- [2] 박태식, 이보혜, 김종용, 석주현, 신정수, 최도영, 최문선, 정창봉 “2014 에너지 총 조사보고서”, 에너지경제연구원 연구보고서, pp.1~771, (2015).
- [3] 김종덕, 최병렬, 이상원, 박종배 “에너지수요 관리 체계 확립 방안,” 에너지경제연구원 연구보고서, pp. 1~250, (2001).
- [4] Na-Eun Lee, Wook-Won Kim and Jin-O Kim, “Optimal Configuration Algorithm for ESS with Renewable Energy Resources Considering Peak-shaving Effects,” The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No. 9, pp. 1199~1205, (2014).
- [5] Koo, Bon-Kil, Hong, Won-Hwa and Kim, Kang-Min, “A Study on the Energy Reduction Effect Using Renewable Energy Through the Analysis of Energy Consumption Structure in the University Buildings,” Journal of the architectural institute of Korea Planning & Design, Vol. 29, No. 9, pp. 203~210, (2013).
- [6] “한국서부발전 태양광 발전 현황”  
<http://www.data.go.kr/dataset/15025486/fileData.do>
- [7] Yeo-Jin Lee, Se-Kyung Han and Sung-Yul Kim, “A Study on the Optimal Angle Setting Considering the Stability of Photovoltaic Systems,” The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 67, No. 4, pp. 498~504, (2018).
- [8] Daesik Yoon, Daehyeok Choo, Byungkook Ki, Joohnsheok Kim and Byungha Lee, “A Study on the Characteristics of Charge and Discharge Terminal Voltages and Life BESS,” 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 230~232, (2014).
- [9] Jaekyun Ahn, “Enhancing the usability of ESS installed on CHP for district heating,” Korean Energy Economic Review, Vol. 15, No. 2, pp. 189~223, (2016).

---

(접수: 2018.08.07. 수정: 2018.08.21. 게재확장: 2018.09.05.)