

마이크로그리드 운영에 따른 전력자립 향상을 위한 에너지저장장치의 적정보조금 산정

Calculation of Appropriate Subsidies for Energy Storage System to Improve Power Self-sufficiency Consider Microgrid Operation

최연주* · 김성열*
(Yeon-Ju Choi · Sung-Yul Kim)

Abstract - In recent years, renewable energy sources have been mentioned as solution to environmental regulation and energy supply-demand. Energy storage systems are needed to mitigate the intermittent output characteristics of renewable energy sources and to operate micro grid efficiently using renewable energy generation systems. However, despite the necessity of energy storage system, this cannot secure the economical efficiency of the energy storage system by high initial cost. In this paper, a micro grid is constructed to supply electric power to industrial customers by using solar power generation system and energy storage system among renewable energy generation power sources and operated to improve energy independence. In the case study, we use photovoltaic system which is representative renewable energy generation system. Unlike conventional photovoltaic system, this system uses floating photovoltaic system with the advantage of having high output and no land area limitations. It is operated for the purpose of improving energy independence in the micro grid. In order to secure economical efficiency, the energy storage system operates a micro grid with a minimum capacity. Finally, this paper calculates the appropriate subsidy for the energy storage capacity.

Key Words : Energy storage system, Floating photovoltaic system, Micro-grid

1. 서 론

에너지저장장치는 발전원에서 생산된 에너지를 저장하여, 필요한 시기에 저장한 에너지를 공급할 수 있는 시스템이다. 신재생 에너지가 각광 받기 시작하면서, 최근 주요 선진국들은 에너지저장장치의 보급 확대를 위해 기술개발 지원과 함께 실증사업을 추진하고 있으며, 에너지저장장치는 신재생에너지의 간헐적 출력특성을 보완하며, 안정적이고 효율적인 에너지수급체계 구현에 기여할 수 있다. 뿐만 아니라 전력계통에 적용함으로써 부하평준화, 주파수조정, 신재생에너지의 전력품질 및 효율을 향상시켜 전력망의 안정성과 신뢰도를 향상시키는 등 다양한 기능을 수행할 것으로 기대된다[1-2].

또한, 최근 대두되고 있는 국내 전력수급 문제를 개선하기 위해 에너지저장장치의 활용을 그 대안 중 하나로 고려하고 있다. 전력수급 문제점 요인들 중 수요와 공급 증가 속도의 불일치와 연료원의 다양성 부족 등이 있으며, 특히 우리나라는 전력소비량의 증가속도가 다른 국가들과 비교하면 매우 빠른 상황이며, 전

력생산량의 95.5%를 석탄, 원자력, 천연가스 등에 의존하고 있다. 또한 판매량 기준 전력소비가 산업용 수용가에 집중된 형태를 보인다[3-4]. 기존 계통을 통해 수용가에 전력을 공급받는 경우, 전력 수요가 급증할 경우 전력수급 문제로 블랙아웃(Black-Out)으로 이어지게 되며, 산업용 수용가에는 막대한 경제적 손실을 발생하게 된다. 따라서 신재생에너지 발전시스템을 이용하여 산업용 수용가에 전력을 공급함으로써, 전력수급 문제점을 개선하기 위한 방안으로 제시한다. 마이크로그리드 구현 시 신재생에너지 발전시스템의 간헐적 출력특성 등 단점들을 완화시켜 산업용 수용가에 안정적인 전력공급을 실현하기 위해 에너지저장장치가 필수적이다. 본 논문에서는 수상태양광 발전시스템과 에너지저장장치를 통해 산업용 수용가에 전력을 공급하는 계통 연계형 마이크로그리드 구현을 통해 계통으로부터 전력 자립 향상을 목적으로 구현한다. 그러나 에너지저장장치의 경우 높은 초기비용으로 인해 마이크로그리드 내 운영에 다른 경제성 확보에 어려움이 있으며, 이에 본 논문에서는 NPV(Net Present Value, 순현재가치법)를 분석하여 경제적 타당성을 검증하여, 에너지저장장치의 초기비용에 대한 적정 보조지원금을 산정을 하고자한다. 또한 마이크로그리드 내에 안정적인 전력수급을 위해 기존 전력망과 마이크로그리드 내 발전원을 운용함에 따라 발생하는 비용과 수익을 고려하여 에너지저장장치의 적정가격 및 적정 보조지원금을 제안한다. 또한 사례연구를 통해 본 논문에서 제안한 방법을 타당성을 분석하고, 마이크로그리드 운영 시, 적절한 산업용 수용가 규

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Energy Engineering, Keimyung University, Korea

E-mail : energy@kmu.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Convergence System Engineering, Keimyung University, Korea

Received : October 7, 2016; Accepted : February 27, 2017

모를 제시한다.

2. 마이크로그리드 발전원 구성 및 운영

본 논문에서는 신재생에너지 발전시스템과 에너지저장장치를 이용한 계통 연계형 마이크로그리드를 구성하여 산업용 수용가에 전력을 공급하는 방식을 제안한다. 신재생에너지 발전시스템으로 는 현재 기술성 및 경제성 확보로 인해 보급이 가장 활발히 이 루어지고 있는 태양광 발전시스템 중 수상태양광 발전시스템을 선정하여 적용하였다. 수상태양광 발전시스템은 기존의 육상에 설치하는 태양광 발전시스템이 아닌 수면 위에서의 플로팅 기술 을 접목시킨 새로운 개념의 발전 방식이다. 이는 국내의 제한적 인 국토상황을 고려했을 때 유휴수면을 활용할 수 있다는 장점을 갖으며, 설치장소가 육상에 비해 상대적으로 낮은 운도를 갖기 때문에 기존 태양광 발전대비 10% 내외의 높은 출력량을 가진다 [5-6]. 에너지저장장치로는 현재 환경적 영향 및 시스템 효율 등 으로 인해 널리 적용되고 있는 리튬이온 에너지저장장치를 적용 하는 것으로 모의하였다[7]. 신재생에너지 설치자 및 생산자를 대상으로 초기 투자비를 경감하고 사업적 경제성을 확보하여 신 재생에너지 설비 및 관련 산업을 보급, 육성하는 제도로 일반 보 급 보조사업과 공공기관 신재생에너지 이용 의무화 제도가 시행 되고 있다[8]. 그럼에도 불구하고 에너지저장장치의 가격경쟁력 이 낮아 자발적인 에너지저장장치 보급이 어려운 실정이다. 따라 서 에너지저장장치 보급 확대를 위해 에너지저장장치 초기비용에 대한 설치보조금이 필요하다. 본 논문에서는 산업용 수용가의 전 력부하 규모에 따른 에너지저장장치의 용량과 이에 따른 경제적 타당성을 분석한다.

이 때, 주전력망을 통해 수용가에 전력을 공급하는 방식과 마 이크로그리드 내 발전원을 통해 전력을 공급하는 방식들의 비용 을 비교하여, 초기 자본금을 회수할 수 있는 에너지저장장치의 가격과 설치보조금을 산정함으로써, 에너지저장장치의 높은 초기 비용을 완화하고자 한다. 본 논문에서 제안한 기법을 설명하기 위해 정의된 표기법은 다음과 같다.

$C_{subsidy}$: 에너지저장장치 설치보조금 [원/kWh]
C_n	: n년에서의 에너지저장장치 순현재가치 [원]
C_o	: 에너지저장장치 총 설비비용 [원]
C_{Grid}	: 주계통을 통한 전력사용요금 [원/kWh]
C_{ESS}	: 에너지저장장치의 현재 설치비용 [원/kWh]
C_{ESS}^{NEW}	: 에너지저장장치의 적정 설치비용 [원/kWh]
$C_{SMP}(t)$: t시간에 전력거래가격 [원/kWh]
i	: 할인율
t_{light}	: 경부하 시간
N	: 에너지저장장치 수명기간 [년]
NPV_N	: N년까지 마이크로그리드 운영에 따른 순현재가치 [원]
R	: 설비예비율
S_{ESS}	: 에너지저장장치 설치용량 [kWh]

η_d	: 에너지저장장치 방전효율
η_c	: 에너지저장장치 충전효율
$P_{Grid}(t)$: t시간에 주계통을 통한 전력공급량 [kWh]
$P_{ESS}(t)$: t시간에 에너지저장장치로 유입되는 전력량 [kWh]
$P_{PV}(t)$: t시간에 수상태양광 발전량 [kWh]
$P_{Load}(t)$: t시간에 전력수요량 [kWh]
$E(t)$: t시간에 에너지저장장치 내부 총 전력량 [kWh]
$TC_{before}(n)$: n년에 마이크로그리드 운영 전 총 전기사용료 [원]
$TC_{after}(n)$: n년에 마이크로그리드 운영 후 총 전기사용료 [원]
$TB(n)$: n년에 마이크로그리드에서 주계통으로 전력을 판 매한 총 수익 [원]

2.1 목적함수

본 논문의 목적함수는 다음과 같다. 장기간 마이크로그리드 발 전원 운영에 따른 에너지저장장치의 경제적 타당성을 평가하기 위해 순현재가치(Net Present Value, NPV)를 이용하며, 이 때 NPV는 에너지저장장치의 수명기간 동안 연도별 순편익의 흐름을 각각 현재가치로 환산하여 나타낸다.

$$Min(C_{Subsidy} | NPV_N + C_{Subsidy} \geq 0) \quad (1)$$

NPV가 0이 되는 지점부터 사업의 타당성이 있다고 하며, 본 논문에서는 NPV의 값이 0이 되는 금액을 최소 보조금으로 산정 하고자한다.

$$NPV_N = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n} - C_o \quad (2)$$

이 때, 위의 목적함수를 만족하기 위한 에너지저장장치의 적정 설치비용과 그에 따른 설치보조금은 식 (3), (4)와 같다. 식 (3)은 마이크로그리드 운영 시 발생하는 순편익으로 에너지저장장치의 설치비용 회수가 가능 하도록 에너지저장장치의 설치비용을 다시 산 정하여 제시하였다.

$$C_{ESS}^{NEW} = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n} / S_{ESS} \quad (3)$$

$$C_{Subsidy} = C_{ESS} - C_{ESS}^{NEW} \quad (4)$$

NPV를 분석하기 위해서는 마이크로그리드 발전원 구성에 따 른 에너지저장장치의 설치비용과, 마이크로그리드와 주계통 간 연계 운영을 통해 얻는 전력판매 수익을 고려해야 한다. 이 때, 수익은 마이크로그리드를 운영하지 않았을 경우와 운영한 이후의 운영비용을 비교하여 분석한다.

$$C_n = TC_{before}(n) - TC_{after}(n) \quad (5)$$

$$C_o = C_{ESS} \cdot S_{ESS} \quad (6)$$

마이크로그리드 운영에 따른 n년도 총 수익은 마이크로그리드 운영 이전의 비용을 고려하여 식 (5)와 같이 산출한다. 이 때 마이크로그리드 내 에너지저장장치 설치비용은 수식 (6)과 같이 나타낸다.

2.2 마이크로그리드 운영 이전

마이크로그리드를 운영하지 않을 경우, 산업용 수용가의 전력 사용비용은 오로지 주계통을 통해 수용가에 공급되기 때문에 전력요금에 기인하여 계산된다. 현재 산업용 수용가의 전력요금체계는 계시별 요금제를 적용하고 있다. 이 요금제는 시간대에 따라 다르게 적용해서 전기요금을 정산한다[9].

마이크로그리드 운영 이전의 연간 운영비용은 식 (7), (8)과 같다.

$$P_{Grid}(t) = P_{Load}(t) \cdot (1 + R) \quad (7)$$

$$TC_{before}(n) = \sum_{t=1}^{8760} P_{Grid}(t) \cdot C_{Grid}(t) \Bigg|_{n년도} \quad (8)$$

산업용 수용가의 전력소비 특성은 주택용 수용가와 달리 전력 부하감소 및 최대부하 시간대를 피한 전력소비가 용이하지 않으므로 본 논문에서는 산업용 수용가의 수요반응 전략을 목적함수에 반영하지는 않았다.

2.3 마이크로그리드 운영 이후

수상태양광 발전시스템과 에너지저장장치를 이용한 마이크로그리드의 운영비용은 주계통을 통한 전력사용 비용과 역으로 마이크로그리드에서 주계통으로 전력을 판매하여 얻는 수익을 통해 계산되며, 이는 식 (9)-(12)와 같다.

$$Charging : P_{ESS}(t) > 0 \quad (9)$$

$$Discharging : P_{ESS}(t) < 0 \quad (10)$$

$$P_{Grid}(t) = P_{Load}(t) \cdot (1 + R) - P_{PV}(t) + P_{ESS}(t) \quad (11)$$

$$TC_{after}(n) = \sum_{t=1}^{8760} P_{Grid}(t) \cdot C_{Grid}(t) - TB(n) \Bigg|_{n년도} \quad (12)$$

주계통을 통한 전력사용 비용은 경부하시간에 발생하며, 에너지저장장치가 수상태양광을 통한 발전량 외에 부족한 전력을 전력망을 통해 충전하며, 충전하는 동안에 수용가는 주계통을 통해 전력을 공급받는다.

$$TB(n) = \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} P_{ESS}(t) \cdot Max(C_{SMP}(t)) \Bigg|_{n년도} \quad (13)$$

수용가에 전력을 공급한 후, 에너지저장장치 내 잉여전력이 존재하면, 식 (13)과 같이 높은 전력거래가격이 형성된 시간대에 주계통으로 판매한다. 마이크로그리드 운영 전후의 운영비용을 비교하였을 때, 수용가의 전력사용량을 감소시키지 않아도, 주계통이 아닌 에너지저장장치를 통해 중간·최대부하시간대에 전력을 공급받음으로써, 이에 따른 전력사용 비용을 절감할 수 있다.

3. 에너지저장장치 최소용량 선정

현재 에너지저장장치의 높은 설치비용으로 인해 신재생에너지 시스템과 에너지저장장치를 통합하여 마이크로그리드를 운영하는 것은 계통 안정도와 신뢰도 관점에서 충분한 이점이 있음에도 경제적인 관점에서는 그 효율성이 부족한 상황이다. 따라서 마이크로그리드 운영주체가 부담해야하는 에너지저장장치의 가격을 감소시키기 위해서는 식 (14)와 같이 마이크로그리드 내 전력수급의 안정성이 확보되는 한도 내에서 에너지저장장치 용량을 최소화할 필요성이 있다.

$$P_{PV}(t) + P_{Grid}(t) + P_{ESS}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1 + R) \geq 0 \quad (14)$$

본 논문에서는 수상태양광 발전시스템과 에너지저장장치를 통해 수용가에 전력을 공급하며, 에너지저장장치는 주전력망과 수상태양광 발전을 통해 충전된다. 따라서 마이크로그리드 내 에너지저장장치의 최소용량을 선정하기 위해서는 수용가의 전력수요량에 따른 에너지저장장치의 충·방전 특성을 고려해야한다.

3.1. 에너지저장장치의 충전모드

3.1.1 수상태양광을 통한 충전

식 (15)와 같이 수상태양광 발전량이 수용가의 전력수요량보다 크고 식 (16), (17)를 만족할 경우, 수용가에 전력을 공급하고 남은 잉여전력은 에너지저장장치에 충전하게 된다.

$$P_{PV}(t) > P_{Load}(t) \cdot (1 + R) \quad (15)$$

$$C_{Grid}(t) > C_{SMP}(t) \quad (16)$$

$$E(t) < S_{ESS} \quad (17)$$

$$P_{ESS}(t) = P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1 + R) \quad (18)$$

이렇게 에너지저장장치에 충전된 에너지는 전력이 필요한 시기에 이용하거나 주계통으로 판매할 수 있다.

3.1.2 주계통을 통한 충전

식 (19)와 같이 수상태양광을 통한 일일 총발전량이 마이크로그리드 내 일일 총 전력소비량보다 작을 경우, 경부하 시간대에 에너지저장장치를 주계통을 통해 충전하도록 한다.

$$\sum_{t=1}^{24} P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1+R) < 0 \Bigg|_{\text{d일}} \quad (19)$$

$$P_{ESS}(t) = \frac{\sum_{t=1}^{24} P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1+R)}{t_{\text{light}} \text{의 갯수}} \Bigg|_{\text{d일}} \quad (20)$$

본 논문에서 에너지저장장치는 일일 운전하며, 수용가의 전력 소비량과 수상태양광 발전량을 고려하여 식 (20)과 같이 전력요금 이 저렴한 경부하시간대에 전력망을 통해 에너지저장장치를 충전한다.

$$E(t) = E(t - \Delta t) + \eta_c \cdot P_{ESS}(t) \cdot \Delta t \quad (21)$$

에너지저장장치 충전모드일 경우의 에너지저장장치의 내부 충전 전력량은 충전특성을 고려하여 식 (21)과 같다.

3.2 에너지저장장치의 방전모드

3.2.1 마이크로그리드 내 전력공급

$$P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1+R) < 0 \quad (22)$$

$$P_{ESS}(t) = P_{Load}(t) \cdot (1+R) - P_{PV}(t) \quad (23)$$

식 (22)과 같이 수상태양광 발전량이 수용가 전력수요량보다 작을 경우, 에너지저장장치는 경부하시간대에 충전한 전력을 방전함으로써, 식 (23)과 같이 수상태양광 발전량 이외 부족한 전력을 수용가에 공급하게 된다.

3.2.2 주계통을 통한 전력판매

$$\sum_{t=1}^{24} P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1+R) > 0 \Bigg|_{\text{d일}} \quad (24)$$

$$P_{ESS}(t) = \begin{cases} t | C_{Grid}(t) < C_{SMP}(t) \\ \sum_{t=1}^{24} P_{PV}(t) - P_{Load}(t) \cdot (1+R) \end{cases} \Bigg|_{\text{d일}} \quad (25)$$

식 (24)와 같이 수상태양광의 일일 총 발전량이 마이크로그리드 내 일일 총 전력수요량보다 크며, 식 (25)과 같이 에너지저장장치에 충전된 잉여전력을 주계통으로 판매한다.

$$E(t) = E(t - \Delta t) - \frac{P_{ESS}(t)}{\eta_d} \cdot \Delta t \quad (26)$$

에너지저장장치가 방전모드일 경우, 식 (26)과 같이 에너지저장장치의 총 내부 전력량을 나타낸다.

$$-S_{ESS} \leq P_{ESS}(t) \leq S_{ESS} \quad (27)$$

$$Max |E(t)| = S_{ESS} \quad (28)$$

에너지저장장치는 식 (27)과 같이 동작되며, 에너지저장장치의 최소용량은 식 (28)과 같이 에너지저장장치 내부 전력량의 최댓값으로 산정하였다[10]. 본 논문에서는 에너지저장장치 경부하시간대에 충전동작만 하며, 경부하시간의 전력수요량은 수상태양광 발전시스템과 주전력망을 통해 전력 공급을 받는다.

4. 사례연구

본 사례연구에서는 수상태양광 발전시스템과 에너지저장장치를 이용한 계통 연계형 마이크로그리드를 구현하여, 산업용 수용가의 규모에 따른 에너지저장장치의 용량과 이에 따른 초기 자본금을 회수 가능하게 하는 에너지저장장치 가격과 설치보조금을 산정한다. 사례연구에 앞서, 산업용 수용가의 전력부하 예비율은 0.5, 에너지저장장치 충·방전 효율은 0.96으로 설정하였다.

4.1 마이크로그리드 발전원 구성

태양광 발전은 태양광을 얻을 수 있는 장소이면 발전이 가능한 특성을 가지고 있지만, 설치지역의 일사량 및 지형 등의 영향을 많이 받기 때문에 설치지역에 태양광 발전특성에 영향을 미치는 요인들에 대하여 정확하게 분석해야한다. 특히 수상태양광 발전시스템은 육상태양광 발전시스템과 달리 유동성을 가지고 있기 때문에, 바람이나 유속 등 주변 환경에 영향을 받으므로, 외부 환경적 요소가 최소화 될 수 있는 곳에 설치하는 것이 유리하다 [11]. 본 사례연구에서는 태양광 발전량에 많은 영향을 미치는 요인은 일사량이기 때문에 일사량이 많은 양수발전소의 유희수면 위에 수상태양광 발전시스템을 설치하려한다.

표 1과 같이 기상청 데이터를 기반으로 일사량을 비교하였으며, 청송, 청평, 삼랑진 순으로 일사량이 가장 많았다. 본 논문에서는 청평 양수발전소의 유희수면에 수상태양광 발전시스템을 설치하는 것으로 모의하였다.

표 1의 결과를 바탕으로 사례연구에서는 청평 양수발전소의

표 1 국내 양수발전소의 일사량 비교

Table 1 Comparative of solar irradiation in pumped storage power plant

장소	직달일사량 [MJ/m ²]	산란일사량 [MJ/m ²]
청평	5853.725	1239.31
삼랑진	5805.438	1208.986
청송	5986.857	1231.178
산청	5412.912	1129.425
양양	5514.952	1072.717
무주	5650.497	1203.184
예천	5720.8	1187.633

상부 댐 수면 위에 수상태양광 발전시스템을 설치하며, 양수발전으로 인한 수위 변동을 고려하여 면적이 전체의 30%가 감소한다고 가정하였다. 이를 고려하여 설치 가능한 면적은 10.5만m²이며, 표 2와 같이 16MW 수상태양광 발전시스템을 설치하여 산업용 수용가에 전력을 공급한다.

표 2 수상태양광 발전시스템 사양

Table 2 Characteristic of floating photovoltaic system

모델명	HS250SB
정격용량[W]	250
모듈개수	65625
설비용량[MW]	16.4

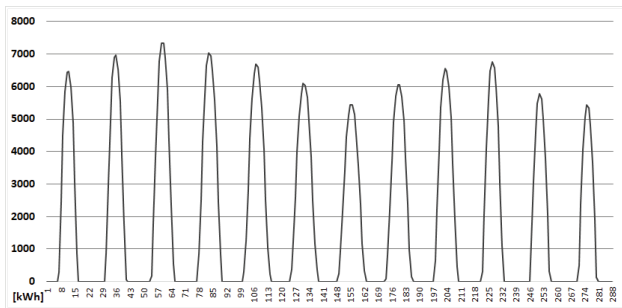


그림 1 수상태양광 발전시스템 발전량

Fig. 1 Generation of floating photovoltaic system

본 논문에서는 태양광 발전 시뮬레이션 프로그램인 ‘Solar Pro’를 이용하여 그림 1과 같이 수상태양광 발전시스템의 월별 일일평균 발전량을 나타낸다. 이 때, 수상태양광 발전량은 육상태양광 발전량 대비 10% 높게 발전된다고 가정하였다.

에너지저장장치의 수명기간은 충·방전시의 방전심도에 대해 반비례 하며, 방전심도의 구간에 따라 변화한다. 본 논문에서는 에너지저장장치가 극한 조건에서 운전하기 위해, 리튬이온 배터리의 SOC Swing 범위를 100%로 운영하며, 이는 에너지저장장치의 용량 0%~100% 구간에서 충·방전동작을 한다는 의미이다. 100% 범위의 SOC Swing으로 운영할 경우 에너지저장장치의 수명기간을 10년으로 나타냈다[12]. 마이크로그리드 내의 수용가 규모를 변동시켜, 이에 다른 전력수요량을 고려하여 에너지 자립을 최대화할 수 있는 에너지저장장치의 최소용량을 산정함으로써, 마이크로그리드 운영의 경제적 타당성 향상에 기여한다.

4.2 마이크로그리드 전력 자립도 변화 분석

마이크로그리드 운영 전은 기존 계통을 통해 전력을 공급받는 방식으로 계통에 대한 높은 전력의존율을 가지고 있으며, 논문에서 제시한 마이크로그리드 운영을 통해 에너지자립 향상에 기여할 수 있다. 표 3은 수용가 규모별 마이크로그리드 운영 시 전력자립률을 나타내고 있으며, 수용가 규모가 증가함에 따라 전력자

립률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 마이크로그리드 발전원 중 하나인 태양광발전시스템의 설비용량은 상수(常數), 산업용 수용가 수는 변수(變數)로 작용한다. 수용가 수가 증가함에 따라 태양광 발전시스템을 통해 공급받는 전력량은 감소하게 되며, 부족 전력은 계통을 통해 전력을 공급 받음으로써 표 3과 같은 결과가 나타난다. 하지만, 기존 방식에 대한 전력자립률과 비교할 경우, 마이크로그리드를 운영함으로써, 자립률 향상에 기여하는 것을 확인할 수 있다. 이는 기후변화와 환경문제에 대한 문제점의 해결 방안으로 작용할 수 있으며, 발전원으로부터 안정적인 전력공급을 유도함으로써, 전력수급 위기대처 역할을 수행할 있음을 나타낸다.

표 3 산업용 수용가 수에 따른 전력자립률

Table 3 Energy self-sufficiency by number of industrial customer

수용가 수	전력사용량[kWh]	전력자립률[%]
1	27856.5	80.9
2	58266.3	78.9
3	90470.3	78.2
4	124292.1	77.5
5	168467.6	75.6
6	250062.6	69.9
7	375332.8	61.2
8	512659.9	53.7

4.3 에너지저장장치 NPV(Net Present Value) 분석

본 논문에서 전기요금과 전력거래가격이 2년마다 2%씩 인상된다고 가정하였으며, NPV(Net Present Value)을 산정하기 위해 할인율 5%, 에너지저장장치의 가격은 110만원/kWh으로 설정한다[13]. 마이크로그리드 운영 전후의 운영비용을 이용하여 고려하여 NPV(Net Present Value)를 통해 경제적 타당성을 평가한다. 수용가 규모가 변화함에 따라, 에너지저장장치의 용량과 마이크로그리드 운영비용이 변화한다. 이로 인해 마이크로그리드 내의 수용가 규모에 따른 경제적인 효과가 변화한다.

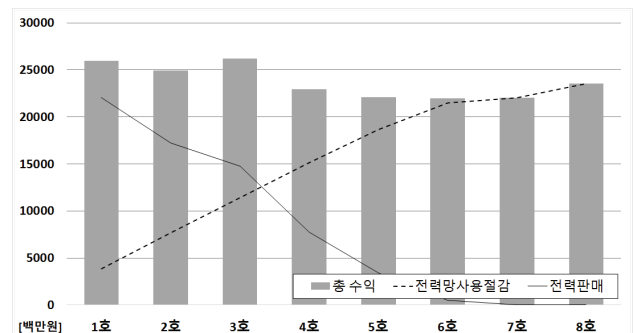


그림 2 산업용 수용가 수에 따른 수익

Fig. 2 Benefit by number of industrial customer

그림 2는 마이크로그리드 내의 수용가 규모에 따른 총 운영비용을 나타낸다. 총 운영비용은 2장에서 마이크로그리드 운영 전후의 주계통을 통한 전력사용에 대한 절감비용과 잉여전력을 판매하여 얻는 수익으로 나타낸다. 그림3에서 나타나는 바와 같이, 수용가 수가 1호에서 6호로 증가함에 따라 주계통을 통한 전력 판매 수익이 감소하며, 이는 판매 가능한 잉여전력이 감소한다는 의미이다. 6호 이상은 수상태양광을 통한 발전량 외에 부족한 전력망을 충전하기 때문에 경부하시간대전력망 사용량이 급증하며, 마이크로그리드 운영전후전력 사용에 대한 절감비용이 증가하게 된다.

표 4 수용가 수에 따른 에너지저장장치 용량과 NPV(Net Present Value)

Table 4 Capacity of energy storage system and npv(net present value by number of industrial customer

수용가 수	에너지저장장치 용량 [kWh]	NPV [만원]
1	52,766	-3,856,738
2	46,792	-3,278,522
3	41,534	-2,604,612
4	36,365	-2,283,414
5	31,391	-1,797,583
6	27,098	-1,333,567
7	31,202	-1,776,645
8	36,032	-2,201,965

표 4는 산업용 수용가 수에 따라 에너지저장장치의 용량과 NPV(Net Present Value)이다. 현재 에너지저장장치의 가격은 고가이기 때문에 표 3에서 확인할 수 있듯이, NPV(Net Present Value)가 마이너스의 값을 가지며, 이는 마이크로그리드의 운영이 경제적인 관점에서 비합리적임을 의미한다. 따라서 수용가 수에 따른 초기 자본금을 회수할 수 있는 적정 가격과 보조지원금을 통해 마이크로그리드의 운영 타당성을 증명하고자 한다.

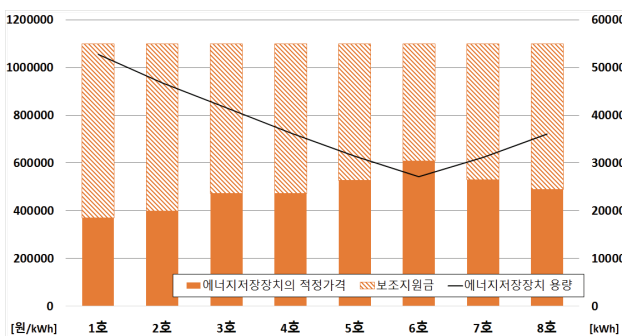


그림 3 산업용 수용가의 에너지저장장치 용량에 따른 적정가격과 보조지원금

Fig. 3 Appropriate cost and subsidy of energy storage system by energy storage system capacity

그림 3과 같이 수용가 수에 따른 경제적인 에너지저장장치의 적정 가격과 보조지원금을 나타낸다. 본 논문에서는 마이크로그리드 운영의 경제적인 효율성을 저감시키는 요인인 에너지저장장치의 적정 가격을 제시하며, 운영주체가 제시한 가격에 마이크로그리드를 운영할 수 있도록 설치비용에 대한 적정 지원금을 제안한다.

수용가 규모가 증가함에 따라 수상태양광 발전량이 공급해야 할 전력량이 증가하면서, 이로 인해 잉여전력이 감소하게 된다. 그림 3에서 수용가 수가 증가하면서 에너지저장장치의 용량이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 하지만, 일정 규모부터 수용가의 전력소비량이 수상태양광 발전량보다 증가하게 되면서 전력수급에 문제가 발생한다. 이 경우, 수상태양광 발전량 이외 전력을 공급받기 위해 에너지저장장치가 필요하다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 수용가 수가 6호 이상에서는 에너지저장장치의 용량이 다시 증가하기 시작한다.

표 5 수용가 수에 따른 에너지저장장치 적정 가격과 보조지원금

Table 5 Appropriate cost and subsidy of energy storage system by number of industrial customer

수용가 수	에너지저장장치의 적정 가격 [C ^{NEW} _{ESS}]	보조 지원금 [C _{Subsidy}]
1	369,086	730,914
2	399,341	700,659
3	472,896	627,104
4	472,084	627,916
5	527,356	572,644
6	607,872	492,128
7	530,598	569,402
8	488,886	611,132

표 5는 수용가 수에 따른 에너지저장장치의 적정가격과 설치 보조금을 나타낸다. 사례연구를 통해 본 논문에서 제시한 마이크로그리드는 6호의 수용가로 운영하였을 경우, 에너지저장장치의 용량이 가장 작으며, 다른 수용가 수와 비교하였을 때, 표 5와 같이 손익분기점에 도달하는 에너지저장장치의 가격이 가장 높으며, 이에 대한 적정 설치보조금이 가장 낮은 것을 확인하였다. 이는 같은 금액의 설치보조금을 지원을 받을 경우, 마이크로그리드 운영 시 경제적 타당성을 입증할 수 있는 가능성이 가장 크다는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 수상태양광 발전시스템과 에너지저장장치를 이용해 산업용 수용가에 전력을 공급하는 마이크로그리드를 구현했으나 에너지저장장치의 높은 초기 비용으로 인해 마이크로그리드의 경제적 타당성을 입증하지 못하였다. 에너지저장장치의 높은 초기비용을 보완하기 위해 NPV를 이용하여 경제적 타당성을 입

증할 수 있는 설치비용에 대한 적정 보조지원금을 산정하였다. 논문에서 언급한 설치측면에 대한 보조지원금 뿐만 아니라 에너지저장장치 운영비용측면에서 산정한 보조지원금을 고려한다면 자발적인 신재생에너지발전시스템과 에너지저장장치 보급에 기여할 수 있으며, 향후 신재생에너지시스템과 에너지저장장치를 통합한 마이크로그리드 운영을 통해 기술적인 관점뿐만 아니라 경제적인 관점에서도 효율성을 입증시킬 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015 R1C1A1A02037544).

References

[1] "Study on Market Making and Analysis of the Effect of Demand Management of Energy Storage System", Korea Energy Economics Institute, 2014.11

[2] "Smart Grid ESS Technology Report", Smart Grid Agency, 2012.9

[3] Hyundai Research Institute, "Problem and the Improvement in the Electricity Demand and Supply in Korea", VIP Report, vol. 551, 2013.12

[4] J.P. Jeon, S.I. Jang, K.H. Kim, "Development of Industrial Load Control Algorithm for Factory Energy Management System under Real Time Pricing Environment" The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 63, no. 12, pp. 1627~1636, 2014.

[5] J.H. Lee, C.S. Won, Y.K. Choi, "Market Trend and Technology for Floating Photovoltaic System" Bulletin of the Korea Photovoltaic Society, vol. 1, no. 2, pp. 35-56, 2015.

[6] S.H. Lee, N.H. Lee, H.C. Choi, J.O. Kim "Study on Analysis of Suitable Site for Development of Floating Photovoltaic System" The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 26, no. 7, pp. 30-38, 2012.

[7] B.H. Ku, J.M. Cha, "A Study on the Evaluation of the ESS Capacity of Considering for Charge - Discharge Characteristic and CO₂ Emission in Jeju" The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 63,

no. 4, pp. 455-460, 2014.

[8] "World Premier Materials Vol 11", WPM Smart Coating, 2014.2

[9] J.O. Lee, M.G. Jeong, S.I. Moon, "Battery Scheduling for Industrial Customer Considering Korean Electric Charges" KIEE summer conference 2014, vol. 2014, no. 7, pp. 237-238, 2014.

[10] Y.J. Choi, S.Y. Kim, "A Study on estimate cost of the energy storage system considering characteristic of floating solar energy generation" KIEE summer conference 2016, vol. 2016, no. 7, pp. 1086-1087, 2016.

[11] H.C. Choi, Y.J. Kim, E.G. Kim, J.S. Lee, "A Study on research of suitable site of Floated PV System" KIEE summer conference 2011, vol. 2011, no. 7, pp. 1400-1401, 2011

[12] J.Y. Yun, Garam. Yu, K.S. Kook, D.H. Rho, B.H. Chang, "SOC-based Control Strategy of Battery Energy Storage System for Power System Frequency Regulation " The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 63, no. 5, pp. 622-628, 2014.

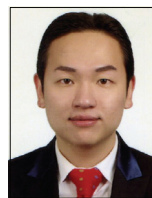
[13] "The Present Status for Energy Storage System" Korea Development Bank, 2014.

저 자 소 개



최연주 (Yeon-Joo Choi)

2016년 계명대학교 전자전기공학부 전기에너지공학전공 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학부 석사과정



김성열 (Sung-Yul Kim)

2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2012년~2013년 미국 Georgia Institute of Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학교 전기에너지공학과 조교수.