

독립형 마이크로그리드 내 분산전원별 최적용량 결정 방법

Determining the Optimal Capacities of Distributed Generators Installed in A Stand-alone Microgrid Power System

고 은 영* · 백 자 현* · 강 태 혁** · 한 동 화** · 조 수 환*

(Eun-Young Ko · Ja-Hyun Baek · Tae-Hyuk Kang · Dong-Hwa Han · Soo-Hwan Cho)

Abstract - In recent years, the power demand has been increasing steadily and the occurrence of maximum power demand has been moving from the summer season to the winter season in Korea. And since the control of electric power supply and demand is more important under those situations, a micro-grid system began to emerge as a keyword for the sTable operation of electric power system. A micro-grid power system is composed of various kinds of distributed generators(DG) such as small diesel generator, wind turbine, photo-voltaic generator and energy storage system(ESS). This paper introduces a method to determine the optimal capacities of the distributed generators which are installed in a stand-alone type of microgrid power system based on the fundamental proportion of diesel generator. At first, the fundamental proportion of diesel generator will be determined by changing from 0 to 50 percent. And then we will optimize the capacities of renewable energy resources and ESS according to load patterns. Lastly, after recalculating the capacity of ESS with consideration for SOC constraints, the optimal capacities of distributed generators will be decided.

Key Words : Stand-alone microgrid, Distributed generators, Renewable resources

1. 서 론

우리나라의 경우, 1980년대만 해도 최대 수요는 5,500MW가 채 되지 않았다. 그러나 급속한 산업화를 거치면서 소비자의 전력사용 패턴이 변하며 전력수요도 함께 증가하였고, 2011년 최고 수요는 73,137MW에 달해 1980년 대비 30년 만에 약 12배가 증가하였다. 2011년 이후에도 매년 평균 약 4%대의 최대전력수요 증가율을 보이면서 꾸준히 증가하고 있으며, 2015년 상반기에는 78,790MW의 최대 전력수요를 나타냈다. 더불어 요즘에는 전기에 의존하는 난방설비가 늘어남에 따라 우리나라 최대전력수요가 여름철이 아닌 겨울철에 나타나는 현상을 보이고 있으며, 실제로 2013년 최대전력수요 발생 시점은 1월, 2014년은 12월, 그리고 2015년 상반기에는 2월로, 2011년 이후 매년 연말이 최대전력수요 발생 시점이 겨울에 나타나는 추세이다[1].

지속적인 화석연료 사용으로 인한 지구 온난화 등 기후변동이 심해짐에 따라 전력수요도 함께 급변하고 있으며, 급변하는 수요는 전력계통의 안정적인 운영에 어려움을 초래한다. 이러한 환경에서 안정적인 전력수급을 비롯하여 에너지 효율향상을 위한 대

안으로 떠오르는 것이 바로 마이크로그리드이다. 마이크로그리드란 단방향 수직구조인 기존 전력시스템에서 분리되어 신재생 발전을 비롯한 여러 분산전원을 중심으로 구성된 차세대 전력망을 의미한다[2-4].

태양광이나 풍력과 같은 신재생 발전원은 마이크로그리드의 대표적인 분산전원이다. 신재생 발전원은 날씨 변화에 민감하게 반응하기 때문에 출력이 일정하지 않고 운영자가 발전기의 출력을 원하는 대로 제어할 수 없으며 현재 부족한 기술력 탓에 초기 투자비가 크다는 단점이 있으나, 친환경적인 에너지를 사용함으로써 탄소감축에 도움이 되며 자원이 무한정하다는 큰 이점 때문에 국내외에서 활발한 연구 및 실증이 진행되고 있는 추세이다[5-8].

그러나 신재생 발전을 계통과 연계하여 운전할 경우 신재생 발전원의 불안정한 출력 변동 및 제어 불가능성 등으로 인해 고조파 발생과 더불어 전반적인 계통의 전력품질이 저하되어, 신재생 발전원이 방해요소로 작용할 위험이 있다. 독립형 마이크로그리드는 이러한 계통연계형 마이크로그리드의 단점을 보완하는 전력시스템 운영 방식으로 제시되고 있어 많은 연구가 이루어지고 있다[9, 10].

독립형 마이크로그리드란 계통과 분리되어 자체적인 분산전원을 가지고 전력을 공급하는 독립적인 전력망으로, 태양광 및 풍력을 비롯한 신재생 발전원과 디젤 발전기 등 여러 분산전원으로 구성된다. 현재 대부분의 독립형 마이크로그리드 내에서 주요 발전원으로 사용하는 디젤 발전기의 경우, 연료로 사용하는 기름이 유가 변동의 영향을 받기 때문에 유가가 상승할 시 발전단가가

* Corresponding Author : Dept. of Energy Grid, Sangmyung University, Korea

E-mail : shcho@smu.ac.kr

* Dept. of Energy Grid, Sangmyung University, Korea

** Lotte Chemical Research Institute, Korea

Received : November 24, 2015; Accepted : January 20, 2016

높아지게 된다. 따라서 디젤 발전기만으로 신재생 발전원의 출력 변동과 부하를 동시에 충족하기 어려우므로, 에너지 저장장치(Energy Storage System, ESS)를 도입함으로써 신재생 발전원의 불안정한 출력 변동을 보완하고 동시에 디젤 및 신재생 발전원과 함께 독립형 마이크로그리드 내 부하를 충족할 수 있다[11].

따라서 본 논문에서는 도서지역을 대상으로 디젤 및 신재생 발전원의 설치비용과 발전비용을 이용하여 부하규모에 맞는 각 분산전원의 적정 용량을 선정하는 것을 목적으로 하고, 이를 위해 독립형 마이크로그리드 내 분산전원으로서 디젤 발전기, 태양광과 풍력발전기, 그리고 ESS를 가정하였으며, 최대전력수요가 겨울에 발생하는 추세를 감안하여 겨울철 부하를 사용하였다.

2. 독립형 마이크로그리드 내 분산전원별 최적 용량 선정

독립형 마이크로그리드 부하별로 분산전원의 구성용량을 선정하는 알고리즘은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 각 분산전원의 최적 용량 선정은 주어진 독립형 마이크로그리드 수요, 신재생발전원의 정격에 따른 출력과 디젤 발전기의 기저발전 비율을 이용하여 디젤 및 신재생 발전원의 용량과 구성 비용을 산정한 후, 산정된 디젤 및 신재생 발전원의 총 비용을 최소화하는 것을 목적으로 최적화 과정에 적용하여 에너지저장장치의 적정용량을 도

출하고, 최종적으로 앞서 가정한 분산전원별 최적의 용량을 선정한다.

분산전원별 용량을 선정하기 위해서는 우선적으로 해당 지역의 대상 부하일을 선정하는 것이 중요하다. 대상 부하일은 독립형 마이크로그리드 대상이 되는 도서지역의 최대전력수요가 발생한 시점일로 하여, 해당일의 시간대별 전력수요를 사용한다.

디젤 및 신재생발전원의 가격정보로 설치비와 발전단가를 입력하였으며 각 발전원의 평균 설비 수명을 감안하여 설치비를 적용하고, 디젤 발전기의 기저 발전 비율은 일일 총 수요에 대한 것으로서 디젤 발전기가 매 시간 동일한 출력을 내는 것으로 가정한다. 환경적 요인에 민감한 신재생 발전원의 특성상 발전원 출력이 대상 지역의 운량, 일사량, 풍속 등과 같은 기상 조건에 따라 크게 좌우되므로, 본 논문에서 사용된 신재생 발전원의 패턴 및 발전량 데이터는 기존 실측 데이터(태양광(용량: 15kW, 기간: 2013.12.01.~2014.01.15.), 풍력(용량: 1MW, 기간: 2013.12.01.~2014.01.15))를 사용하였다. 사용된 실측 데이터는 이상값 및 결측값을 보정한 것이며, 일반적인 패턴을 얻기 위해 평균적인 값을 적용하였다.

2.1 기본식

$$\sum_{i=1}^{24} \{ (DG_i + PV_i + WT_i + E_i) \times \epsilon - L_i \} = 0 \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 DG_i 는 디젤 발전기의 시간대별 발전량(kW), PV_i 와 WT_i 는 각각 태양광과 풍력발전기의 시간대별 출력(kW), E_i 는 에너지 저장장치(Energy Storage System, ESS)의 시간대별 충전량 또는 방전량(kWh) 그리고 L_i 는 독립형 마이크로그리드의 시간대별 수요(kW)를 뜻한다. ϵ 는 분산전원과 부하 사이에서 소비되는 전력 즉, 손실률을 의미하는 것으로, 독립형 마이크로그리드 시스템의 손실률은 원 전력계통과 다른 점을 감안하여 적절한 값을 적용해야 한다. 이 식은 독립형 마이크로그리드 내에서 발생하는 수요는 디젤 발전기와 신재생 발전원, 그리고 ESS로 모두 충족하는 것을 의미하는 것으로, 일일 총 수요량은 분산전원들의 일일 총 발전량에서 손실을 뺀 것과 같다. ESS는 충·방전량(E_i)이 양수면 충전, 음수면 방전을 의미한다.

2.2 분산전원 구성 용량 선정 모델링

독립형 마이크로그리드 내 분산전원의 적정 구성 용량을 선정하기 위한 모델링은 표 1과 같다. 목적함수는 총 비용을 최소화 하는 것이다. 총 비용이란 디젤 발전기와 신재생 발전원의 비용이며, 각 발전원의 비용은 설치비용과 발전량에 따른 발전비용의 합이다. 이때, 각 발전원에 대한 유지·보수(O&M, Operating&Maintenance) 비용은 설치비용에 포함하였다.

디젤 및 신재생 발전원 각각의 설치비용은 산정된 용량에 설치단가를 곱한 값이며, 설치단가는 각 발전원의 평균 설비수명을 감안하여 일 단위 비용으로 환산하여 적용하였다. 발전비용은 일일 총 발전량에 발전 단가를 곱한 값이며, 디젤 발전기의 경우

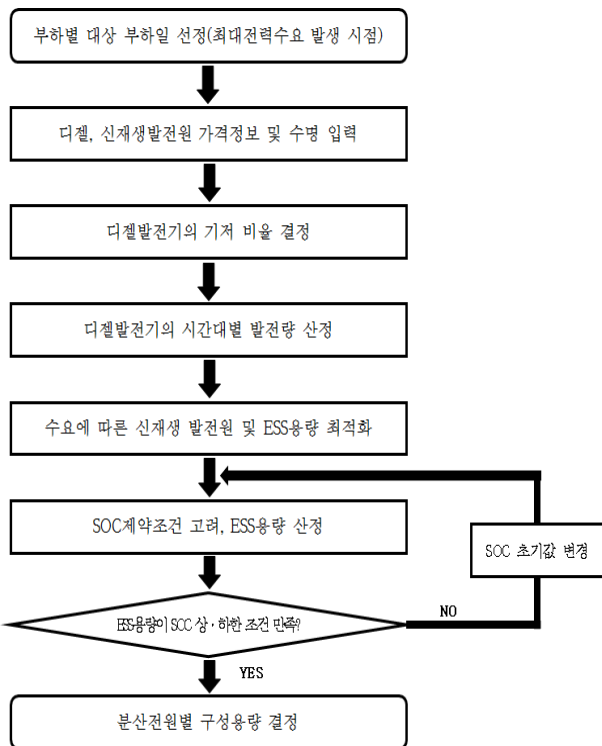


그림 1 독립형 마이크로그리드 분산전원별 용량 선정 알고리즘
 Fig. 1 Algorithm for determining capacities of distributed generators in a stand-alone microgrid

표 1 독립형 마이크로그리드 내 분산전원 구성 용량 산정
Table 1 Calculating the capacities of distributed generators

결정변수	N_{PV}, N_{WT} N_{PV} : 태양광 발전 모듈 수 N_{WT} : 풍력 발전기 수		
목적함수	$Min(Cost_{total})$ $Cost_{total} = C_{DG} + C_{PV} + C_{WT}$ C_{DG}, C_{PV}, C_{WT} : 디젤, 태양광, 풍력 각 발전원에 대한 총 비용		
	디젤 (DG)	$C_{DG} = C_{DG,inst} + C_{DG,gen}$ $C_{DG,inst} = CP_{DG} \times UP_{DG,inst}$ $C_{DG,gen} = \sum_{i=1}^{24} DG_i \times UP_{DG,gen}$ $\sum_{i=1}^{24} DG_i = \sum_{i=1}^{24} L_i \times \mu$	
	태양광 (PV)	$C_{PV} = C_{PV,inst} + C_{PV,gen}$ $C_{PV,inst} = CP_{PV} \times UP_{PV,inst}$ $C_{PV,gen} = \sum_{i=1}^{24} PV_i \times UP_{PV,gen}$	
	풍력 (WT)	$C_{WT} = C_{WT,inst} + C_{WT,gen}$ $C_{WT,inst} = CP_{WT} \times UP_{WT,inst}$ $C_{WT,gen} = \sum_{i=1}^{24} WT_i \times UP_{WT,gen}$	
	C_{inst}, C_{gen} : 발전원별 설치비용 및 발전비용 CP : 발전원별 용량 UP_{inst} : 발전원별 단위 설치비용 및 유지·보수비용 UP_{gen} : 발전원별 단위 발전비용 DG_i, PV_i, WT_i : 분산전원의 시간대별 발전량 L_i : 시간대별 수요 μ : 디젤 발전기의 기저 발전 비율		
제약조건	ESS	총·방전 $\sum E_{char} = \sum E_{dis}$ i) $E_i > 0$: 충전 $E_i = E_i \times \alpha$ ii) $E_i < 0$: 방전 $E_i = E_i / \alpha$ SOC 범위 $SOC_{min} \leq SOC_i \leq SOC_{max}$	
	신재생 발전원	시간대별 출력	$PV_i \leq CP_{PV} \quad WT_i \leq CP_{WT}$
		설치 개수	$N_{PV} \geq N_{PV}^{min} \quad N_{WT} \geq N_{WT}^{min}$
	E_i : 시간대별 ESS 총·방전량 α : PCS 효율 $\sum E_{char}, \sum E_{dis}$: ESS의 일일 총 충전량 및 총 방전량 SOC_i : ESS의 시간대별 SOC $N_{PV}^{min}, N_{WT}^{min}$: 태양광 모듈 및 풍력 발전기의 최소 설치 개수		

발전 단가로 연료비를 적용하고 일일 총 발전량은 일일 총 수요의 기저 발전 비율을 곱한 값으로 하였다. 디젤 발전기의 기저 발전 비율은 0%부터 50%까지 10%씩 증가시켰으며, 기저 발전 비율에 따라 6가지 시나리오로 분류하였다.

시간대별 ESS의 총·방전량은 부호로 구분하는데, 양수일 경우에는 충전을 의미하고 음수일 경우 방전을 의미하며 이 때, 총·방전량에 PCS 효율을 적용하여 계산하였다. ESS의 SOC (State of Charge)는 상한 및 하한값(SOC_{max}, SOC_{min}) 제약을 주어 그 범위 안에서 ESS의 총·방전량 값을 가지도록 하였으며, 최적화 결과로 산정된 ESS의 초기 용량에 SOC조건을 적용하여 ESS의 최종 용량을 도출하였다.

제약조건으로 ESS의 일일 총 충전량과 총 방전량은 같고, 신재생 발전원의 시간대별 출력은 산정된 용량에 의한 정격 이하의 값을 가지도록 하였다. 또, 태양광 발전 모듈과 풍력 발전기는 최소 설치 개수 이상 반드시 설치해야하는 것으로 하여 최적해가 음수 값을 갖지 않도록 하였으며, 신재생 발전원의 단위용량은 태양광의 경우 발전 모듈 기준으로 1개당 1kW, 풍력의 경우 소형 발전기를 사용한다는 가정 하에 1기당 100kW로 하였다.

3. 사례 연구

사례연구를 통해 다양한 규모의 도서지역 부하를 이용하여 각 부하에 적합한 독립형 마이크로그리드 내 분산전원 발전 비율을 산정하고자 한다. 사례연구에서 사용된 태양광 및 풍력 발전 데이터는 모두 실측값을 이용하였으며, 3주치 발전량 실측 데이터를 평균내서 사용하였다. 손실률의 경우, 현재 실제 운영 중인 독립형 마이크로그리드의 손실률이 0.9~1.7%정도임을 보았을 때, 향후 독립형 마이크로그리드의 규모가 더 커지고 조류량이 늘어나는 것을 고려하여 본 사례연구에서는 손실률을 2%로 감안하였다[12].

3.1 수요

사례연구에서 사용한 부하는 세 군데의 도서지역으로, 관광용이나 산업용 등 특정 용도를 지니지 않은 부하이다. 도서지역 A, B, C는 부하 규모와 시간대별 전력수요 패턴은 각기 다르지만 저녁 시간대에 최대 전력수요가 나타나는 유형이 유사한 곳으로 가정하였다. 최대전력수요 발생 시점이 여름이 아닌 겨울에 발생하는 최근 추세와 함께 우리나라 일반적인 주거중심 도서지역의 경우 전력수요 패턴에 있어서 요일별 특성이 적은 점을 감안하여, 사용된 부하는 요일 특성을 배제한 겨울철 부하로 가정하여 적용하였다.

3.1.1 도서지역 A

도서지역 A의 수요 패턴은 사례연구에서 사용한 세 가지 도서 지역 수요 데이터 중 가장 규모가 작은 도서지역이다. 최대 전력수요는 110kW, 최소 전력수요는 78kW이며, 비슷한 규모의 실제 도서지역으로 풍도(경기도 안산), 고대도(충남 보령) 등이 있다.

표 2 독립형 마이크로그리드 도서지역 A 부하 정보

Table 2 Load information of island A

일일 총 수요	2,157 [kWh]
최대 전력수요	110 [kW]
최소 전력수요	78 [kW]



그림 2 독립형 마이크로그리드 도서지역 A 부하패턴
Fig. 2 Load pattern of island A

3.1.2 도서지역 B

도서지역 B의 수요 패턴은 세 가지 도서지역 수요 데이터 중 중간 규모의 도서지역이며, 최대 전력수요 369kW, 최소 전력수요 188kW의 부하규모로, 비슷한 규모의 실제 도서지역은 삼시도(충남 보령), 가거도(전남 신안) 등이 있다.

표 3 독립형 마이크로그리드 도서지역 B 부하 정보

Table 3 Load information of island B

일일 총 수요	5,943 [kWh]
최대 전력수요	369 [kW]
최소 전력수요	188 [kW]

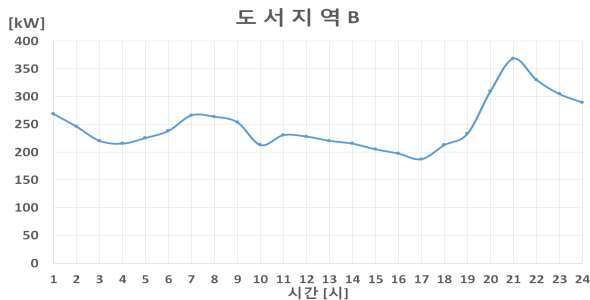


그림 3 독립형 마이크로그리드 도서지역 B 부하패턴
Fig. 3 Load pattern of island B

3.1.3 도서지역 C

도서지역 C의 수요 패턴은 세 가지 도서지역 수요 데이터 중

가장 큰 규모의 도서지역이며, 최대 전력수요 2,597kW, 최소 전력수요 1,796kW의 부하규모로, 비슷한 규모의 실제 도서지역은 연평도(인천 옹진), 흑산도(전남 신안) 등이 있다

표 4 독립형 마이크로그리드 도서지역 C 부하 정보

Table 4 Load information of island C

일일 총 수요	50,006 [kWh]
최대 전력수요	2,597 [kW]
최소 전력수요	1,796 [kW]



그림 4 독립형 마이크로그리드 도서지역 C 부하패턴
Fig. 4 Load pattern of island C

3.2 신재생 발전원

신재생 발전원의 구성비용은 태양광과 풍력발전기 각각의 설치비용과 발전비용을 합하여 계산하였다. 최적화를 통해 태양광 발전 모듈과 풍력 발전기의 설치 대수가 결정되면, 각 발전원의 설치 대수와 설정한 단위 용량의 곱을 정격용량으로 하여, 이 정격용량에 설비수명을 고려한 일 단위 설치단가를 곱한 값이 설치비용이 된다. 발전비용은 태양광 및 풍력의 일일 총 발전량에 발전원별 발전단가를 곱한 값이며, 이 때 일일 총 발전량은 태양광과 풍력발전기의 설치대수에 의해 산정된 정격용량을 기존 발전 실측 데이터를 정규화한 패턴에 적용하여 얻는다[13].

3.2.1 태양광

기상청 날씨 분류 기준에 따라 '맑음'인 날만을 선택하여, 해당 일의 태양광 발전량의 실측값 3주치를 평균내서 사용하였다. 최종 도출된 태양광 발전 평균 데이터에서의 발전가능 시간대는 오전 8시부터 오후 4시까지며, 최대 발전량을 기준으로 정격대비 효율은 약 78.7%이다. 표 5는 기존 실측 데이터의 정격용량인 15kW를 기준으로 '맑음'인 날 3주치의 평균을 적용하여 나타낸 값이다.

3.2.2 풍력

태양광과 달리, 바람은 시간이나 날씨에 따라 일정한 패턴을

표 5 태양광 발전 정보

Table 5 Information of photo-voltaic generator

발전 가능 시간	08:00-16:00 [시]
일일 총 발전량	70.6 [kWh]
최대 출력	11.8 [kW]
최소 출력	0 [kW]
효율	78.7 [%]

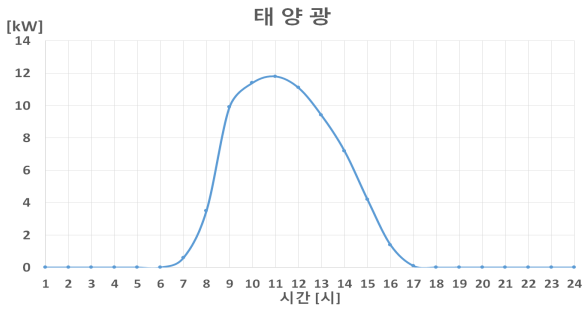


그림 5 시간대별 태양광 발전 패턴

Fig. 5 Generation pattern of photo-voltaic

표 6 풍력 발전 정보

Table 6 Information of wind-turbine generator

일일 총 발전량	7,739.21 [kWh]
최대 출력	416.38 [kW]
최소 출력	233.8 [kW]
효율	41.64 [%]

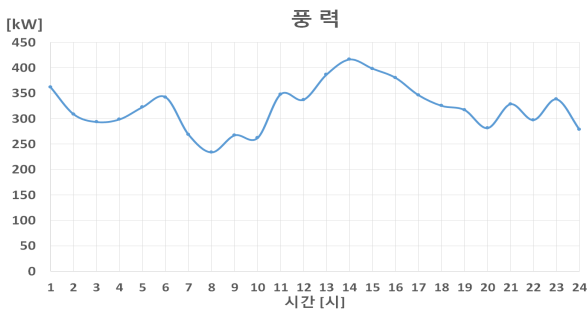


그림 6 시간대별 풍력 발전 패턴

Fig. 6 Generation pattern of wind-turbine

가지는 에너지원이 아니므로 발전량 또한 그림 5의 태양광 발전 패턴과 같이 시간에 따른 일정한 패턴으로 나타나지 않는다. 때문에, 풍력 데이터는 특정 날씨나 요일에 대한 구분 없이 3주치의 풍력 발전량 실측값을 평균내서 사용하였다.

사례연구에서 사용한 풍력 데이터는 도서지역에 설치된 풍력 발전기의 출력으로, 도서지역의 특성상 바람의 난류 또는 높이 등에 따른 풍속변화가 적으며 육지에 비해 평균 풍속이 높아 대

체적으로 모든 시간대에 출력이 발생하여 발전효율이 높다. 표 6은 기존 실측 데이터의 정격용량인 1MW를 기준으로 한 값이며, 효율은 약 41.6%로 일반적인 육상 풍력 발전기에 비해 높은 발전효율을 가지고 있으나 태양광 발전에 비해서는 낮은 값을 나타낸다[14].

3.3 디젤

디젤 발전기도 신재생 발전원과 마찬가지로 설치비용과 발전비용을 합하여 구성비용을 계산하였다. 설치비용은 디젤 발전기의 최소 설치용량을 80kW으로 하고, 시뮬레이션 과정에서 필요 용량이 80kW이하일 경우 설치가격은 최소 설치용량의 가격을 적용하되 실질적으로 사용하는 용량은 80kW용량 중 계산된 필요 용량만큼만 사용하는 것으로 하였다. 80kW이상일 경우는 기저 발전 비율에 따른 출력을 50단위로 반올림한 값을 토대로 일반적인 디젤 발전기의 가격정보를 이용하여 용량별 설치비용을 적용하였다.

디젤 발전기의 발전량은 부하에 대한 기저 발전 비율에 따라 달라지며, 기저 발전 비율에 따른 독립형 마이크로그리드 내 분산전원별 최적 용량을 산정하기 위해 세 가지의 부하별로 기저 발전 비율을 증가시켜 서로 다른 기저 발전 비율을 갖는 경우에 대하여 시뮬레이션을 진행하였다.

3.4 시뮬레이션

시뮬레이션은 도서지역 A, B, C 세 가지의 부하별로 기저발전 비율을 0%부터 50%까지 10%씩 증가시켜 부하별 6가지 경우에 대하여 진행하였다. 아래 그림 7-9는 각 도서지역별 시뮬레이션을 진행한 예시를 나타낸 것으로, 시뮬레이션을 통한 결과에서 총 비용이 최소인 Case의 그래프이다. 그래프의 오른쪽 축은 SOC를 의미하며, 모든 Case에서 ESS의 SOC는 $SOC_{min} = 20\%$, $SOC_{max} = 90\%$ 의 제약조건을 가지고 있다. SOC 초깃값은 부하의 크기와 패턴, 분산전원별 출력에 따라 다르기 때문에 부하별 각 Case에 적합한 값을 적용하였다.

세 가지 도서지역의 6가지 Case에 따른 시뮬레이션 결과는 아래 표 7이며, Case 분류에 따른 분산전원별 용량과 총 비용 ($Cost_{total}$)을 나타낸 것이다. 총 비용은 디젤 발전기, 태양광 발전

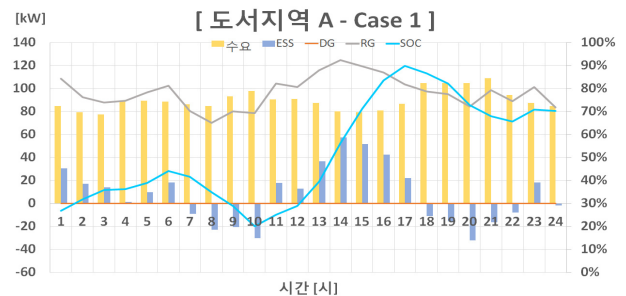


그림 7 시뮬레이션 예시 : 도서지역 A - Case 1

Fig. 7 Simulation : Island A - Case 1

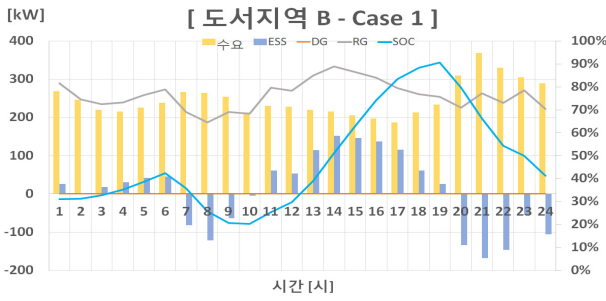


그림 8 시뮬레이션 예시 : 도서지역 B - Case 1
 Fig. 8 Simulation : Island B - Case 1

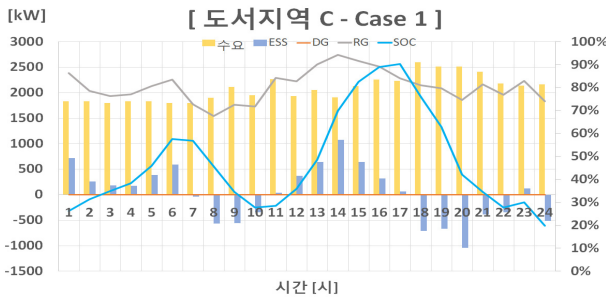


그림 9 시뮬레이션 예시 : 도서지역 C - Case 1
 Fig. 9 Simulation : Island C - Case 1

모듈, 풍력발전기의 산정된 용량에 대한 일 단위로 환산된 설치비와 일일 발전량에 따른 발전비의 합을 의미한다. 이 때, 표 7에 명시된 디젤 발전기의 용량은 각 도서지역의 Case별 조건에서 부하에 대한 기저 발전 비율에 따라 계산된 실질적으로 필요한 용량으로, 설치비를 적용할 때 기준으로 한 용량과 별개이다. 표 7에서 DG는 디젤 발전기의 용량, PV는 태양광 발전 모듈의 용량, WT는 풍력 발전기의 용량, ESS는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)의 용량을 의미한다. 신재생 발전원의 용량은 시뮬레이션을 통해서 최적해로 도출된 태양광과 풍력 발전기의 설치 개수를 단위 개수 기준으로 정수화 시킨 것이며, 그 과정에서 ESS의 용량도 바뀌기 때문에 신재생 발전원의 설치 개수 정수화 이후 계산된 ESS용량을 최종용량으로 한다.

ESS의 용량은 시뮬레이션을 통해 산정된 디젤 발전기와 신재생 발전원의 발전 용량 비율에 따라 결정되는 것으로, 디젤 발전기의 기저 발전 비율이 증가함에 따라 ESS용량과 총 비용이 일정한 증감을 갖지 않은 것은 시뮬레이션을 거쳐 도출된 분산전원별 최적해에 따른 용량을 정수화시키는 과정의 영향을 받은 것이다.

세 도서지역 A, B, C 모두 디젤 발전기의 기저 발전 비율이 0%, 즉 디젤 발전기를 설치하지 않고 태양광(PV) 발전 모듈 또한 설치하지 않았을 때 총 비용이 최소한의 가격을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 태양광 발전 모듈의 경우, 각 부하별 모든 Case에서 설치하지 않는 것이 총 비용을 최소화 하는 방안으로 도출되었다.

표 7 도서지역별 시뮬레이션 결과

Table 7 Results of simulation

도서지역 A					
Case	DG [kW]	PV [kW]	WT [kW]	ESS [kWh]	Cost_total [원]
1	0	0	300	345	391,050
2	10	0	300	625	496,733
3	20	0	300	1,015	578,466
4	30	0	200	210	529,849
5	40	0	200	425	611,582
6	50	0	200	800	693,314
도서지역 B					
Case	DG [kW]	PV [kW]	WT [kW]	ESS [kWh]	Cost_total [원]
1	0	0	800	1,235	1,042,800
2	30	0	800	1,890	1,291,985
3	50	0	700	1,635	1,386,869
4	80	0	600	1,380	1,481,753
5	100	0	500	1,120	1,578,786
6	130	0	400	920	1,679,040
도서지역 C					
Case	DG [kW]	PV [kW]	WT [kW]	ESS [kWh]	Cost_total [원]
1	0	0	6,600	5,045	8,603,101
2	250	0	6,000	5,050	9,779,123
3	450	0	5,300	4,810	10,821,676
4	650	0	4,700	4,965	11,971,099
5	850	0	4,000	4,630	12,985,368
6	1,050	0	3,400	4,900	14,130,921

도서지역 A의 일일기준 평균 수요는 89.86kW으로, 풍력 발전기 3기를 설치하고 나머지 수요 및 발전은 345kWh급의 ESS로 충당하는 것이 가장 적합하고, 도서지역 B의 평균 수요는 247.62kW로 풍력 발전기 8기를 설치하는 것이며 1,235kWh급의 ESS로 보강하는 것이 최소한의 가격을 가진다. 도서지역 C의 평균 수요는 2,083.55kW이고, 풍력 발전기 100kW 기준 6기와 5,045kWh급 ESS가 최적의 분산전원 구성이다. 즉, 일반적인 주거중심 도서지역의 부하발전기 없이 부하 패턴에 맞는 최적의 분산전원 조합은 디젤 크기에 맞게 풍력과 ESS만으로 구성을 하는 것으로 나타났다.

일반적인 도서지역의 부하 특성상, 부하의 유형이 관광이나 산업과 같은 특정 용도를 갖지 않는 이상 시간대별 전력 수요 패턴이 비교적 평활하기 때문에 신재생 발전원 중 모든 시간대에 일정한 출력을 내는 전원이 경제적인 것으로 평가되어 발전 비율이 높게 산정된다. 만약 태양광 발전 모듈의 비율을 높일 경우, 일조시간에 출력이 발생하는 태양광의 환경적 요인 특성으로 분

산전원의 낮 시간 발전량이 높아지게 되고, 남은 잉여 발전량을 이용하기 위해 ESS의 용량이 함께 증가하게 된다. 결과적으로 태양광 발전의 비율을 증가시키는 것은 불필요한 비용이 발생하므로 가격적 측면에서 이득이 없다고 사료된다. 따라서 시간대별 수요가 대체로 평활한 도서지역의 경우에는 분산전원으로서 비교적 많은 시간대에 고른 출력을 내는 풍력발전기가 적합하며, 필수적으로 태양광 발전 모듈을 설치할 경우에는 태양광 발전 비율을 줄였을 때 ESS를 소형으로 사용하는 것이 가능하다는 결론이 나온다.

독립형 마이크로그리드 시스템의 대표적인 사례로 에너지 자립섬 사업으로 구축된 가사도와 가파도를 들 수 있다. 가사도는 연평균 전력수요가 102kW인 섬으로 디젤 발전기 300kW, 태양광과 풍력 발전기 714kW, 에너지저장장치 3MWh로 분산전원이 구성되어 있으며, 가파도는 연평균 전력수요 129kW인 섬으로 디젤 발전기 450kW, 태양광과 풍력 발전기 641kW, 에너지저장장치 1.86MWh로 구성되어 있다[15, 16]. 이러한 사례와 비교해 봤을 때, 본 논문에서 태양광 발전 비율을 수동적으로 증가시켰을 경우 실제 독립형 마이크로그리드 실증과 유사한 전원구성 결과가 나오는 것을 짐작할 수 있다.

4. 결 론

독립형 마이크로그리드 내의 분산전원으로 디젤 발전기와 태양광 및 풍력 발전기를 가정하였고, 부하에 대한 디젤 발전기의 기저 발전 비율 변화에 따른 신재생 발전원의 용량을 산정하여 산정된 분산전원별 용량에 따라 결정된 ESS의 용량과 총 비용을 제시하였다.

시뮬레이션 결과에서 부하에 대한 디젤 발전기의 기저 발전 비율이 증가할수록 총 비용이 증가하는 추세를 보이는 것은 ESS의 용량에 대한 설치비와 총·발전비 등 비용적인 측면을 고려하지 않은 점을 감안했을 때 디젤 발전기의 용량에 따른 초기 설치비용이 다른 분산전원에 비해 크다는 것을 의미한다. 본 시뮬레이션에서 사용한 가격정보에 따르면 단위당 발전비용(원/kWh) 또한 디젤 발전기가 가장 컸기 때문에, 총 비용을 계산하는 데 있어서 디젤 발전기의 기저 발전 비율이 큰 비중을 두고 있었음을 추측할 수 있다.

그러나 최근 3년간의 유가는 수요 둔화와 그에 대응하지 못한 과잉공급, 그리고 미국의 원유재고 증가 등의 이유로 하락하는 추세를 나타내고 있고, 특히 작년 하반기부터는 급격한 하락세를 보이고 있다[17]. 만약 이러한 경향이 계속된다면 디젤 발전기가 초기 설치비용이 크지만 발전단가가 낮아짐에 따라 본 논문에서 시행한 시뮬레이션과 다른 결과를 초래할 수 있다. 하지만 유가는 전 세계 여러 나라의 대내외적 요인에 민감하게 반응하기 때문에 지속적인 유가하락을 기대할 수 없으므로 디젤 발전기를 최소한으로 운전하는 것이 경제적인 전력수급 운영에 도움이 된다.

본 논문은 사례연구에서 ESS의 가격정보를 배제하였고, 실제 실증에 있어서 디젤 발전기와 같이 안정적인 출력을 내는 전원이거나 태양광 발전처럼 운전가능 시간대에 높은 효율의 출력을 내는

발전원 없이 풍력 발전기만으로 독립형 마이크로그리드 시스템을 구성할 경우 출력의 불확실성 때문에 전력 공급이 안정적으로 이루어지기 힘들다는 데에 한계점이 있다. 따라서 독립형 마이크로그리드의 신뢰도 향상을 위해 풍력 발전기와 ESS외의 다른 전원을 임의로 추가할 경우 예비력 확보 등에 도움이 되며, 추후 추가적인 가격정보 적용 및 다양한 기상정보 이용을 통해 신뢰도 분석을 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 에너지수요관리핵심기술사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20152010103390)

References

- [1] KEPCO(Korea Electric Power Corporation), "2015 KEPCO in Brief", 2015
- [2] Hak-Ju Lee, "EMS Development and Construction of Micro-Grid Field Site", Korea Electrical Contractors Association Electrical Installation, 2013
- [3] Ji-Hoon Kim, Byung Ha Lee, "A Study on Optimal Operation of Microgrid Considering the Probabilistic Characteristics of Renewable Energy Generation and Emissions Trading Scheme", Trans. KIEE, vol. 63, No. 1, pp.18-26, 2014
- [4] Ji-Hye Lee, Byung Ha Lee, "Optimal Microgrid Operation Considering Fuel Cell and Combined Heat and Power Generation", Trans. KIEE, vol. 62, No. 5, pp. 596-603, 2013
- [5] Woo-Kyu Chae, Hak-Ju Lee, Won-Wook Jung, Il-Keun Song, "A Research on Construction of Grid-Connected MicroGrid Field Site", KIEE Summer Conference 2010, pp.455-456, 2010
- [6] REN 21, "Renewables 2013 Global Status Report", 2013
- [7] KEPCO(Korea Electric Power Corporation), "A Study on Standards of Renewable Energy for Remote Island", 2012
- [8] Dong-Woo Jang, Wook-Won Kim, Jin-O Kim, "Unit Sizing of Reliability-based Optimal Capacity of Renewable Energy in Microgrid", KIEE Summer Conference 2013, pp.536-537, 2013
- [9] Sang-Min Woo, Sung-Hun Lee, Hyung-Gun Kwag, Sung-Yul Kim, Hyun-Il Son, Jin-O Kim, "A Study on Optimal Hybrid-Renewable Energy Configuration of Islanded Microgrids", Proceedings of the KSES 2012

Spring Annual Conference, vol. 32, No. 1, pp.511-515, 2012

[10] Wen Yeting, Dai Yuxing, Zhou Xiwei, Wang Ye, Xie Bin, "Application of Island Microgrid Based on Hybrid Batteries Storage", 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications, pp. 262-267, 2014

[11] E.S Choi, J.B Ahn, C.H Cho, J.H Jeon, "Operational Characteristic Study of Stand-Alone type Micro-grid", KIEE Summer Conference 2010, pp.1193-1194, 2010

[12] KEPCO(Korea Electric Power Corporation), "2014 Result of Power Supply by Island", 2015

[13] Min-Ho Baek, "Feasibility Analysis of Renewable Energy Generation System Supply for Realizing Low-Carbon Society of Island region", Ajou University, 2011

[14] Eun-Jin Cho, "A Study on Adopting Renewable Energy on Ports in Korea and Development : Focused on Offshore Wind and Photovoltaic Power Generation", Sungkyunkwan University, 2015

[15] Sung-Man Kim, "The Technology Application and Operating Case of Microgrid", Journal of the Electric World/Monthly Magazine, Special Issues_4, 37-44p, 2014

[16] Choong-Hwan Lee, "Zero-Carbon Island, Gapado", Green Technology Center, Green Economy Webzine, vol.01, 2014.8

[17] Korea National Oil Corporation Patronet

저 자 소 개



고 은 영 (Eun-Young Ko)

1992년 7월 3일생. 2015년도 상명대학교 에너지그리드학과 졸업. 2015년~현재 동 대학원 에너지그리드학과 재학(석사과정)
E-mail : ey0703@sangmyung.kr



백 자 현 (Ja-Hyun Baek)

1992년 12월 13일생. 2015년도 상명대학교 에너지그리드학과 졸업. 2015년~현재 동 대학원 에너지그리드학과 재학(석사과정)
E-mail : hyunee100@sangmyung.kr



강 태 혁 (Tae-Hyuk Kang)

1968년 11월 15일생. 1994년 홍익대학교 공업화학부 졸업. 1996년 홍익대학교 화학공학과 석사졸업. 2001년 홍익대학교 화학공학과 공학박사. 2001년~2002년 ㈜동부파인셀 연구팀장. 2002년~2005년 VK㈜ 연구그룹장. 2005년~2010년 에너그립㈜ 연구소장. 2010년~현재 롯데케미칼 전문연구위원
Tel : 031-879-1130
E-mail : thkang@lottechem.com



한 동 화 (Dong-Hwa Han)

1982년 11월 17일생. 2008년 건국대학교 전기공학과 졸업. 2010년 건국대학교 전기공학과 석사졸업. 2014년 건국대학교 전기공학과 공학박사. 2014년~현재 롯데케미칼 연구소 책임연구원
Tel : 042-879-1134
E-mail : pwele@lottechem.com



조 수 환 (Soo-Hwan Cho)

1976년 10월 28일생. 2002년 고려대학교 전기공학과 졸업. 2002년~2004년 삼성전자 무선사업부 근무. 2009년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2009년~2011년 한국원자력연구원 선임연구원. 2011년~현재 상명대학교 에너지그리드학과 조교수
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr