

마이크로그리드에서 에너지 저장 장치의 최적 활용에 관한 연구

김옥원*, 이성훈**, 최형철**, 이종석**, 김진오*
 한양대학교*, 한국수자원공사**, 한양대학교*

A Study on Optimal Operation of Energy Storage System in Microgrids

Wook-Won Kim*, Sung-Hun Lee**, Hyeong-Cheol Choi**, Jong-Seok Yi**, Jin-O Kim*
 Hanyang University*, K-Water**, Hanyang University*

Abstract - 신재생에너지의 도입으로 인하여 마이크로그리드의 운영은 저장장치의 용량 및 운영 방식에 크게 의존한다. 그러므로 저장장치의 최적 용량 선정 및 운영전략에 대한 연구가 필수적이다. 본 논문에서는 신재생에너지가 도입된 마이크로그리드 환경에서 저장장치의 최적 용량을 선정하는 방법과 운영전략을 제안한다. 또한 신재생에너지의 출력량을 정량화 하고 사례연구를 통하여 제안한 방법을 검증하였다.

1. 서 론

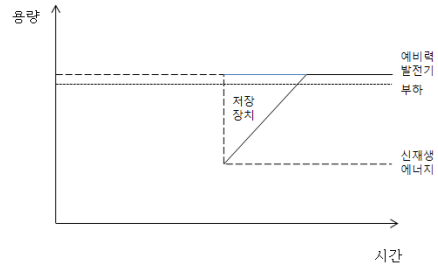
신재생에너지원 중 분산전원(Distributed Generation)은 기존 발전 장치에 비해 송전계통과 배전계통의 운영 및 손실 비용, 감소전기품질 및 신뢰도 향상, 부하의 변동에 따른 대응력 강화, 친환경 에너지원 이용(온실가스, 공해저감), 배열이용에 의한 에너지효율의 향상 등의 장점을 가지고 있다. 반면에 송전계통 대규모 발전에 비해 설치비용, 전력 생산 비용 높음, 일부 전력생산 기술의 경우 불안정한 전원(태양광, 풍력 등), 계통운용상의 문제(보호협조, 안전, 보안), 충분한 기술력 미확보(역조류 문제, 보호 협조의 제조정, 계통 동기화 문제, 분산전원 보호), 제한적인 분산전원 운영 등의 문제를 가지고 있다[1][2]. 이러한 분산전원을 적극적으로 활용하기 위한 방법 중 하나가 마이크로그리드의 개념의 도입이다. 또한 환경에 대한 관심의 증가로 신재생에너지원을 사용하는 분산전원 사용의 필요성이 대두됨에 따라 신재생에너지가 도입된 마이크로그리드환경에 대한 연구가 필요하게 되었다. 신재생에너지의 도입으로 인하여 마이크로그리드의 운영은 저장장치의 용량이나 운영방법에 크게 의존한다.[3] 마이크로그리드에 도입되는 저장장치의 용량은 크면 클수록 좋으나 비싼 가격으로 인하여 무조건 용량을 크게 할 수 없는 실정이다. 그러므로 안정정인 운영을 위해서는 마이크로그리드에 도입된 태양광 풍력과 같이 제어가 어려운 신재생에너지의 설치 용량이나 그 발전량을 고려한 최적 저장장치 용량선정이 선행되어야 한다. 또한 에너지 저장장치는 그 종류에 따라 응답 속도가 다르고 배터리의 경우 잦은 충/방전은 수명감소의 원인이 되기 때문에 마이크로그리드의 부하의 크기와 발전량에 따라 적절한 저장장치 선정 및 용량 결정 및 운영전략을 수립하는 것이 중요하다.

2. 본 론

2.1 저장장치의 최적 용량 선정

마이크로그리드에 도입된 신재생에너지의 경우 날씨에 의해 출력이 변동하고 출력의 제어가 힘들기 때문에 설치된 용량에 비례하여 예비력을 확보해야 한다. 일반적으로 계통에 쓰이는 예비력의 경우 발전과 수요의 불균형이 발생하게 되면 발전을 시작하여 일정 증발율을 가지고 필요 발전량까지 출력을 증가 시키게 된다. 이처럼 일반적인 계통에서는 증발률로 인하여 어느 정도 발전과 수요의 불균형이 존재하지만 계통이 클 경우 그 자체의 튼튼함으로 인하여 주파수 혹은 전압의 변동이 크게 나타나지 않는다. 반면 마이크로그리드는 소규모 계통이기 때문에 독립모드로 운전할 경우 출력과 부하의 불균형으로 인하여 주파수의 및 전압변동이 크게 발생하게 된다. 이런 문제는 마이크로그리드 자체의 정전으로 이어질 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다. 안정적인 운영의 대책중 하나로 에너지 저장장치의 활용이 주목받고 있다. 저장장치의 용량은 크면 클수록 좋으나 용량대비 높은 단가로 인하여 원하는 만큼의 용량은 연계하기 어려운 실정이다. 본 논문에서는 신재생에너지의 출력특성과 예비력발전기의 증발률을 고려한 저장장치의 최적용량을 선정하는 방법을 제안한다.

발전량과 출력량의 불균형이 발생할 경우 예비력은 그림[1]과 같이 동작한다. 신재생에너지 출력의 감소로 인하여 부하와 출력의 불균형이 발생하면 예비력발전기가 동작하게 되지만 예비력 발전기의 증발률로 인하여 공백이 생기게 된다. 그렇기 때문에 배터리와 같은 반응 속도가 빠른 저장장치를 이용하여 공백만큼 보상이 필요하다.



<그림 1> 저장장치의 최적 용량

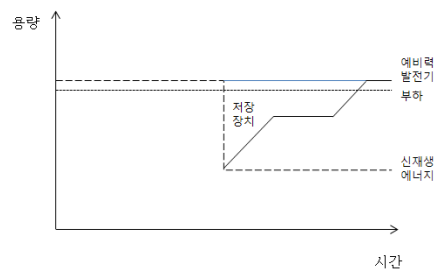
저장장치의 최대 출력까지 걸리는 시간은 0이라고 가정하였고, 이때 저장장치의 필요 용량은 (1)과 같이 산정할 수 있다.

$$P_{B,opt} = \frac{1}{2} \left(P_{f,max} \times \frac{P_{f,max}}{P_{R,ramp}} \right) = \frac{P_{f,max}^2}{2P_{R,ramp}} \quad (1)$$

$P_{B,opt}$ 는 필요한 저장장치의 용량이고, $P_{f,max}$ 는 출력과 부하의 최대 차이다. $P_{R,ramp}$ 는 예비력 발전기의 증발률이다. 결과적으로 그림[1]의 삼각형 넓이 만큼 저장장치의 용량을 확보해야 마이크로그리드의 독립운전 안정적 운영을 할 수 있다.

2.2 저장장치의 운영전략

저장장치는 기본적으로 전력이 남을 때 충전하고 예비력 발전기의 증발률에 의한 공백을 보상하기 위해서 방전한다. 하지만 출력과 부하의 최대 불균형을 고려하였기 때문에 예비력 발전기의 증발률을 보상하기 위해서만 운영하고 나머지는 예비력 발전기로 운영한다면 잉여전력의 손실로 인하여 그만큼의 비용손실이 발생하게 된다. 일반적인 출력변동에도 <그림 2>와 같이 활용한다면 저장장치의 최대 용량 만큼 활용할 수 있을 것이다.

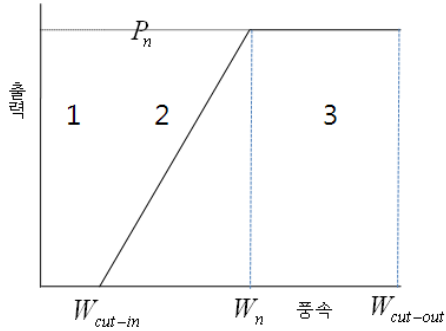


<그림 2> 저장장치의 최대 방전 전략

신재생에너지의 경우 출력의 예측이 어렵기 때문에 갑작스런 출력변동을 대비하여야 한다. 그렇기 때문에 저장장치를 최대로 방전하더라도 최소 SOC(State of Charge)를 설정하여 우발적인 출력감소에 대비하여야 한다.

2.3 신재생에너지의 모델링

풍력발전기는 보통 <그림 2>와 같은 출력 형태를 가진다.

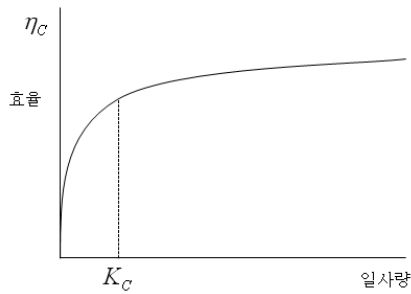


<그림 3> 풍력발전기의 출력특성

1번 구간은 풍속이 약해 출력이 0인 cut-in구간이고 2번은 출력이 증가하는 구간 3번은 정출력구간 3번의 오른쪽 구간은 고풍속으로 인해 풍력발전기를 보호하기 위해 발전을 정지하는 cut-out구간이다. 풍속에 따른 출력 특성을 나타내면 식(2)와 같이 근사화 할 수 있다. 본 논문에서는 다수의 풍력발전기가 설치된 풍력단지에 대한 근사식으로 모델링한다.

$$\begin{aligned}
 P_w &= 0 & 0 < W_s < W_{cut-in}, \text{ and } W_{cut-out} < W_s \\
 P_w &= N \frac{P_n}{W_n - W_{cut-in}} W_s - \frac{P_n}{W_n - W_{cut-in}} W_n & W_{cut-in} < W_s < W_n \\
 P_w &= NP_n & W_n < W_s < W_{cut-out}
 \end{aligned} \quad (2)$$

P_w 는 wind farm의 출력량을 나타낸다. P_n 은 풍력발전기의 최대 출력을 나타낸다. N 과 W 는 각각 설치된 풍력발전기의 대수 및 풍속을 나타낸다. 마찬가지로 태양광 발전의 일사량 대비 효율은 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다 이를 출력 식으로 나타내면 (3)과 같다.



<그림 4> 태양광발전의 일사량 대비 효율

$$\begin{aligned}
 P(S) &= \frac{\eta_c}{K_c} S^2 & 0 \leq S < K_c \\
 P(S) &= \eta_c S & S > K_c
 \end{aligned} \quad (3)$$

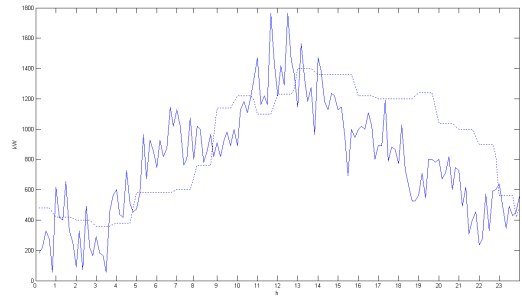
3. 사례 연구

3.1 저장장치의 최적 용량 선정

사례연구에서 마이크로그리드 계통에서 총 신재생에너지 설치량은 태양광 500kW, 풍력2MW 총 2.5MW이고, 부하와 발전량의 최대변동치는 총 신재생에너지 설치량의 40%인 1MW로 가정하였다. 운전예비력 기준치와 같이 예비력 발전기는 10분만에 최대 출력을 달성한다고 가정하였다. (1)을 활용하여 최적 용량을 선정하면 83kWh의 저장장치의 용량을 확보하여야 안정적인 마이크로그리드 운영이 된다고 할 수 있다.

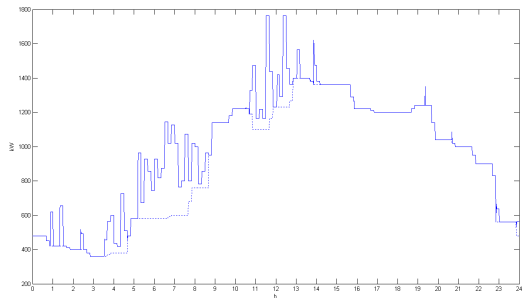
3.2 저장장치의 운영 전략에 따른 에너지 효율

식(2)(3)과 하루간의 날씨 데이터를 활용하여 나타낸 출력과 부하그래프는 <그림 5>와 같다. 실선은 신재생에너지 출력을 나타내고 점선은 부하를 나타낸다.



<그림 5> 신재생에너지 출력 및 부하

예비력 발전기와 저장장치를 활용하여 최대한 출력을 보상하였을 때 <그림 6>과 같이 나타난다. 실선은 예비력과 저장장치를 활용하여 출력을 보상하였을 때의 그래프이고 점선은 부하를 나타낸다.



<그림 6> 신재생에너지 출력 및 부하

운영전략에 따른 출력그래프는 결과적으로 거의 차이가 없지만 최소 SOC를 남기고 완충/방전 하기 때문에 잉여 전력을 좀 더 줄일 수 있고 결과적으로 예비력 발전기의 발전량을 줄임으로써 경제적 이득을 가져올 것이다. 본 사례연구에서는 저장장치 가 최대 충/방전 전략을 수행할 때가 예비력발전기의 증발률만 보상할 때 보다 총 158kWh의 예비력 발전을 절약하였다. 전체적으로 신재생에너지 생산량보다 부하가 크기 때문에 적은 양이 나왔다. 하지만 부하와 신재생에너지 발전량이 비슷하여 충방전 반복이 잦을 경우 더 많은 양을 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로그리드의 안정적인 운영을 위한 저장장치의 용량 선정기법을 제안하였다. 또 저장장치의 최대방전운영전략을 통하여 저장장치의 활용을 극대화 하는 방안을 제시하였다. 사례연구에서는 저장장치의 최적 용량을 산정하고 두가지 운영 방법의 비교를 통하여 최대 방전 운영전략의 효율성을 입증하였다. 본 논문은 신재생에너지가 도입된 마이크로그리드 환경에서 필요한 저장장치의 용량을 선정하고 운영전략을 수립하는데 도움이 될 것이라고 사료된다. 앞으로 실 데이터를 사용한 검증과 다양한 방식의 운영전략 수립을 활용한 사례연구가 더 수행 되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Ackermann, "Wind Power in Power Systems", 1st ed. New York:Wiley, 2005.
- [2] S. Kennedy, "Wind power planning: Assessing long term costs and benefits," Energy Policy, volume. 33, pp. 1661-1675, 2005.
- [3] Leon Freris, David Infield, "Renewable Energy in Power System", 1st ed. New York:Wiley, 2005.