

BESS 기반 마이크로그리드 운영전략

Operational Strategy for a BESS-based Microgrid

이 하 림* · 전 영 환*
(Ha-Lim Lee · Yeong-Han Chun)

Abstract - Small islands are quite adequate places where microgrid system with renewable sources can replace diesel engines as operation costs of diesel engine in most small islands are very high. To get the large amount of renewable energy, the microgrid system has very large capacity of renewable sources. The system with large capacity of renewable sources can meet the case when supplied energy is greater than the load and the fluctuation of source output is very large. The battery energy storage system can be a solution to stabilize the system with large capacity of renewable sources. In this case, BESS can be utilized as a master source for the synchronous operation of all sources including diesel engine, wind turbine and PV. The diesel generators can be used as a backup in case the BESS SOC goes below a certain level. In this paper, we suggest a novel unit commitment of diesel generators and operation schedule of pump for water supply service with the information of wind forecast, PV forecast, and load forecast. The proposed methods has been implemented and tested at the test bed in Gasa-Island.

Key Words : BESS, Microgrid EMS, Renewable energy, SOC recovery

1. 서 론

계통의 규모가 비교적 작은 도서지역 마이크로그리드에서 신재생에너지를 주 에너지원으로 활용하고자 하는 경우에는 신재생 에너지원의 용량을 부하보다 크게 설계하게 된다. 이러한 시스템에서는 신재생에너지원의 출력이 부하보다 큰 경우도 많으며 출력의 변동성도 크기 때문에 에너지저장장치의 역할이 매우 크다 [1-4]. 이와 같이 대용량 에너지 저장장치가 에너지 주 공급원인 마이크로그리드에서 디젤발전기, 풍력발전기, 태양광 전원 등이 동기를 이루어 운전이 되어야 하기 때문에 마스터 전원을 에너지 저장장치로 설정하는 것이 매우 안정적이다[5-9]. 본 논문에서는 이러한 시스템을 BESS 기반 마이크로그리드로 정의한다. 신재생 에너지원의 용량이 매우 큰 마이크로그리드에서 신재생에너지원의 정확한 출력예측은 경제적 측면에서 매우 중요한 문제이며, 에너지저장장치를 경제적으로 활용하기 위해서는 풍속의 예측, 일조량 예측에 따라 디젤 발전기의 기동 정지 계획이 필요하다. 따라서 BESS 기반 마이크로그리드에는 마이크로그리드 운영시스템(EMS, Microgrid EMS)의 기동정지계획 기능은 매우 중요하다. 본 논문에서는 신재생 설비, 디젤 발전기, 대용량 에너지 저장

장치, 상수도 펌프 모터 부하가 있는 마이크로그리드에서 수요예측, 신재생예측을 기본으로 디젤발전기의 기동정지계획과 상수도 on/off를 결정하는 알고리즘을 제안하고 이를 가사도에 적용하였다.

본론의 2장에서는 제안한 마이크로그리드 EMS의 구조에 대하여 설명하였다. 2.1절에서는 BESS의 SOC가 안전 기준 범위 이내로 유지될 때 동작하는 마이크로그리드 운영방안인 ASC(Automatic Source Control) 운전 모드에 대해서 설명한다. 2.2절에서는 SOC가 안전 기준 범위를 벗어나는 비상시의 마이크로그리드 운영 방안인 DEC(Direct Emergency Control) 운전 모드에 대하여 기술하였다. 3장에서는 ASC와 DEC 각각에 대한 case study를 통하여 제안한 알고리즘이 유용함을 입증하였다.

2. 마이크로그리드 EMS 구조

논문에서 제안한 마이크로그리드에 연계된 대용량 에너지 저장장치인 BESS(Battery Energy Storage System)는 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)모드로 운전되며 디젤 발전기는 전력이 부족한 경우에만 발전하도록 되어있다. 또한 안정적인 계통 상황에서 동작하는 ASC(Automatic Source Control) 모드와 비상 상황에서의 운전을 위한 DEC(Direct Emergency Control) 모드로 구성하였다. 각 운전 모드의 실행 기준이 되는 안정적인 계통 상황에 대한 판단 여부는 BESS의 SOC(State Of Charge)이다. 운영시스템에서는 실시간으로 SOC를 측정하여 계통 운영자가 사전에 설정한 안전 운전 기준 범위내인 경우 ASC 모드를, 그렇지 않은 경우에는 DEC 모드가 동작한다.

* Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Hong Ik University, Korea

E-mail : yhchun@hongik.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Hong Ik University, Korea

Received : July 23, 2015; Accepted : November 28, 2015

2.1 ASC(Automatic Source Control)

ASC는 BESS의 SOC가 안전 운전 기준 범위 이내인 경우 동작하는 모드이다. 해당 모드에서는 제어 가능한 발전 및 부하 설비들에 대한 기동정지계획을 계산한다.

계산에 필요한 입력 정보로는 24시간 동안의 수요 예측 값, 풍력 터빈 발전기 및 태양광 발전기에서 가장 가까운 각 지점별 풍속 예측 값 및 일사량 예측 값이 있다. 또한 마이크로그리드에서 운전이 가능한 모든 발전 및 부하 설비들에 대한 정보가 필요하다.

위의 정보들을 이용하여 디젤 발전기, 상수도 펌프 모터 그리고 BESS의 SOC에 대한 on/off 및 출력 계획을 계산한다. 또한 계통 운영자가 최종 시간대 SOC target 값을 설정하면 디젤 발전기 및 상수도 펌프 모터의 출력을 조정하여 SOC를 원하는 값 이상이 되도록 할 수 있다.

2.1.1 ASC의 목적함수

ASC에서 기동정지계획을 계산 할 때, 디젤 발전기들의 기동비용과 발전비용의 총합을 최소화시키는 것이 목적함수이며 여러 가지 제약 조건들을 동시에 만족해야 한다. 이때, 기존의 기동정지계획과는 다르게 BESS가 연계된 마이크로그리드에서는 몇 가지 제약조건이 추가로 포함되어 최적해를 계산하게 된다.

먼저 ASC 계산에 필요한 목적함수에 대하여 설명하겠다. 가사도에 설치된 발전 설비 중 기동비용 및 연료비용이 책정되는 설비는 디젤 발전기뿐이므로 계산시 목적함수는 아래의 식 (1)과 같이 디젤 발전기의 연료비용 및 기동비용 총합의 최소화이다.

$$\min \sum_{i,t} (FLC_{i,t} + STC_{i,t}) \quad (1)$$

이때 발전비용 $FLC_{i,t}$ 는 아래의 식 (2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$FLC_{i,t} = a_i g_{i,t}^2 + b_i g_{i,t} + c_i \quad (2)$$

계수 a_i, b_i, c_i 는 디젤 발전기 i 의 출력에 따른 비용곡선 함수를 나타내는 값이다. $g_{i,t}$ 는 설비 i 가 t 시간에 발전하고 있는 출력을 나타낸다.

기동비용 $STC_{i,t}$ 는 아래의 식 (3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$STC_{i,t} = s_{i,t} \times STF_i \quad (3)$$

식 (3)에서 $s_{i,t}$ 는 t 시간에서의 발전기 i 가 기동됨을 나타내는 변수이고 STF_i 는 발전기 i 의 기동비용을 의미한다. 발전기의 기동비용은 발전기가 정지 상태에서 운전 상태로 바뀔 때만 나타난다는 특성이 있다.

2.1.2 ASC의 제약조건

목적함수에 이에 ASC 계산에 필요한 제약조건들에 대하여 설명하겠다. 계산에 필요한 제약조건들은 크게 디젤 발전기와 관련된 제약식들과, BESS와 관련된 제약식들로 구분할 수 있다.

본 논문에서 사용한 디젤 발전기와 관련된 제약식들 중 주요 제약식 몇 가지에 대하여 기술하겠다. 먼저 디젤 발전기는 한번 기동할 때 최소로 운전해야하는 최소 운전시간이 있다. 이는 최초 기동 이후 일정 시간 동안은 출력을 발생 시킨 이후 꺼야 하는 것을 의미한다. 또한 반대로 디젤 발전기를 정지한 이후 일정 시간 동안 기동이 불가능한 최소 정지시간이 있다. 이를 식으로 나타내면 아래의 식 (4)와 식 (5)와 같다.

$$s_{i,t} + d_{i,t} + d_{i,t+1} + \dots + d_{i,t+MUT_i-1} \leq 1 \quad (4)$$

$$d_{i,t} + s_{i,t} + s_{i,t+1} + \dots + s_{i,t+MDT_i-1} \leq 1 \quad (5)$$

$d_{i,t}$ 와 $s_{i,t}$ 는 디젤 발전기의 현재 상태를 나타내는 변수이며 각각 정지 상태와 기동 상태인 경우 해당 변수가 1이 된다. 또한 MUT와 MDT는 최소 운전시간과 최소 정지시간을 각각 의미한다.

BESS는 디젤 발전기와 다르게 별도의 연료비용 혹은 기동비용이 없기 때문에 디젤 발전기와 같이 출력에 따른 연료비용 곡선을 나타내는 제약식을 추가 할 필요가 없다. 대신 BESS의 특성을 나타내는 몇 가지가 추가되었으며 그 중 주요 제약식에 대하여 설명하겠다.

가장 먼저 설명할 제약식은 BESS의 현재 출력에 대한 식이다. 디젤 발전기와 다르게 BESS는 충전이 가능하다. 방전을 하는 경우는 출력이 양수(+)로 나타나며 반대로 충전을 하는 경우는 출력이 음수(-)로 나타난다. 이를 나타낸 것이 아래의 식 (6)에 해당한다.

$$g_{i,t} = g_{i,t}^x - g_{i,t}^y \quad (6)$$

$g_{i,t}$ 는 BESS i 의 t 시간에서의 출력을, $g_{i,t}^x, g_{i,t}^y$ 는 각각 i 설비의 t 시간에서의 방전 전력과 충전 전력을 나타낸다.

또 다른 주요 제약식으로는 BESS의 충·방전 동시 발생을 제한하는 식이 있다. BESS에서 방전과 충전이 동시에 발생하는 것은 물리적으로 불가능하므로 이를 나타내는 식이 필요하며 아래의 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{i,t} + y_{i,t} \leq 1 \quad (7)$$

$x_{i,t}$ 와 $y_{i,t}$ 는 각각 방전과 충전을 나타내는 상태 변수이다. 두 상태가 동시에 일어날 경우 합이 2가 되기 때문에 이러한 현상이 발생하지 않도록 제한해준다.

마지막으로 설명할 제약식은 BESS의 에너지 즉 SOC를 계산하는 식이다. 이전 주기에서 측정된 SOC에 효율이 고려된 방전 전력과 충전 전력을 반영하여 현재의 SOC를 계산하며 다음의 식 (8)이 이에 해당한다.

$$SOC_{i,t}^x = SOC_{i,t-1}^x + g_{i,t}^y \cdot eff_i - g_{i,t}^x \quad (8)$$

$SOC_{i,t}$ 와 $SOC_{i,t-1}$ 는 각각 현재 SOC와 이전주기의 SOC를 의미하며 $g_{i,t}^x, g_{i,t}^y$ 는 각각 방전 전력과 충전 전력을 나타낸다. 그리고 eff_i 는 방전시의 에너지 효율을 나타낸다.

마지막으로 마이크로그리드 전체와 관련된 주요 제약식으로는 발전력의 합이 전체부하와 같아야한다는 조건이 있다. 이는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_i g_{i,t} = D_t \quad (9)$$

2.2 DEC(Direct Emergency Control)

DEC 모드는 BESS의 SOC가 안전 운전 기준 범위를 벗어난 경우 이를 다시 회복시키기 위한 제어 동작을 진행하는 모드이다.

마이크로그리드는 신재생 발전기의 출력과 수요의 예측 정보가 실제 값과 많은 오차가 발생할 가능성이 높으며, 이 경우 BESS의 SOC를 계획대로 운영할 수 없다. SOC가 100%까지 올라가게 되면 추가로 발생하는 신재생 전원의 출력을 모두 버려야 하는 비효율적인 결과가 나타난다. 반대로 0%가 되는 경우에는 신재생 전원 혹은 디젤 발전기의 출력 없이는 계통에 전력을 공급할 수 없게 되어 경제적인 계통 운영이 불가능해진다. 이를 방지하기 위하여 SOC가 일정 범위를 벗어나는 경우 다시 회복시키는 제어 동작이 필요하다.

SOC 안전 운전 기준 범위는 크게 상한 기준과 하한 기준으로 구분할 수 있다. BESS의 SOC가 상한 기준을 초과하면 SOC 상한 기준 회복 알고리즘에 따라 SOC를 안전 운전 기본 범위 이내로 복구시킨다. 반대로 SOC가 하한 기준 미만으로 내려갈 경우 SOC 하한 기준 회복 알고리즘에 따른 동작을 진행한다.

2.2.1 SOC 상한 기준 회복 알고리즘

BESS의 SOC가 상한 기준을 초과한 경우 BESS에 연결된 PCS의 출력을 증가시켜서, 즉 BESS를 방전하여 SOC를 낮춰야 한다. 이를 위해 마이크로그리드에 연계된 제어 가능한 부하 설비들을 동작시켜서 전체 부하를 증가시키거나 제어 가능한 발전 설비를 제어하여 발전량을 감소시켜야 한다.

제어 가능한 부하의 경우 양수 펌프 모터를 동작시켜서 저수지 혹은 물 저장 탱크의 수위를 높이는 방법이 있다. 이 외에도 dummy 부하 혹은 에어컨 부하를 동작시키는 방법이 있다. 이러한 방법들은 마이크로그리드 전체의 부하를 증가시켜서 PCS의 출력을 증가시키고 결과적으로 BESS의 SOC를 감소시키는데 기여한다.

만약 마이크로그리드에 연계된 디젤 발전기가 동작 하면서 출력을 발생시키고 있다면 해당 설비를 off 시켜야 한다. 뿐만 아니라 예측했던 것에 비하여 태양광 발전 설비 혹은 풍력 발전기에서 출력이 과도하게 발생되고 있는 경우에는 마찬가지로 해당 설

비를 off 시켜야 한다.

위의 여러 가지 제어 방안들을 통하여 SOC를 낮추기 위해서는 현재의 PCS 출력과 목표 PCS 출력의 차이가 0이 되도록 필요한 방전 전력을 계산하여 설비들을 제어해야 한다. 정확한 출력은 아래의 식 (10)을 통하여 구한다. 이 과정에서는 설비의 종류 및 대수에 상관없이 우선순위가 미리 지정되어 있어야 한다.

$$SOC(t) = SOC(t-1) + (PCS_{charge} - PCS_{discharge}) \times TPD \quad (10)$$

식 (10)은 SOC의 현재 측정값과 이전 주기 측정값을 통하여 필요한 PCS의 출력을 구하는 식이다. 이전 주기의 SOC에서 PCS의 입력(PCS_{charge})과 출력($PCS_{discharge}$)의 차이에 time step(TPD)를 곱한 값을 더해준다.

만약 꺼야 하는 설비(일반적으로 발전 설비)들을 모두 꺾고 켜야 하는 설비(일반적으로 부하 설비)들을 모두 켜줌에도 SOC가 회복되지 않는다면 계통 운영자의 수동 제어를 통해 SOC를 회복시켜야 한다.

2.2.2 SOC 하한 기준 회복 알고리즘

앞서 설명한 경우와 반대로 BESS의 SOC가 하한 기준 미만으로 내려간 경우BESS에 연결된 PCS의 입력을 증가시켜서, 즉 BESS를 충전하여 SOC를 증가시켜야 한다. 이를 위해 마이크로그리드에 연계된 제어 가능한 부하 설비들은 동작을 정지 시켜서 전체 부하를 감소시키거나 제어 가능한 발전 설비들을 on 시키거나 출력을 증가시켜 전체 발전량을 증가시켜야 한다.

부하를 감소시키는 방법은 제어 가능한 dummy 부하, 양수 펌프 모터 혹은 에어컨 부하를 끄는 방법이 있다. 이를 통해 마이크로그리드 전체의 부하를 감소시켜서 PCS의 출력을 감소시키고 결과적으로 BESS의 SOC를 증가시킬 수 있다.

만약 마이크로그리드에 연계된 태양광 발전 설비 혹은 풍력 발전기가 꺼져있다면 설비의 상태를 확인 한 후 켤 수 있는 설비는 모두 on 시키는 것이 좋다. 이 과정에서 고장 혹은 예방 정비를 위하여 켤 수 없는 설비는 사전에 구분하여 제어를 하지 않도록 해야 한다.

그럼에도 불구하고 PCS 입력이 충분하지 않은 경우 현재의 PCS 입력과 목표 PCS 입력의 차이가 0이 되도록 디젤 발전기를 제어해야 한다. 정확한 PCS 목표값은 식 (10)을 통하여 구하며 앞 절에서 설명한 것과 같이 제어 우선순위가 미리 정해져 있어야 한다.

3. Case Study

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 전라남도 가사도 마이크로그리드의 계통 상황을 가정하여 시뮬레이션을 진행해보았다.

3.1 가사도의 마이크로그리드 구성

가사도는 대한민국 전라남도에 위치한 작은 섬이다. 평균 83 ~ 107kW, 최대 167kW, 최소 40kW의 수요를 가지고 있다.

가사도는 기존에 정격용량 100kW 디젤 3기, 50kW 정격의 상수도 모터 펌프 부하 설비 등이 있었다. 하지만 마이크로그리드 EMS 운영 방안을 실증하기 위하여 정격용량 3MWh BESS 1기, 정격용량 100kW 풍력 발전기 4기 그리고 총 320kW 용량의 태양광 발전기 9기의 신규 발전 설비를 건설하였다.

가사도의 마이크로그리드 구성도는 아래의 그림과 같다.

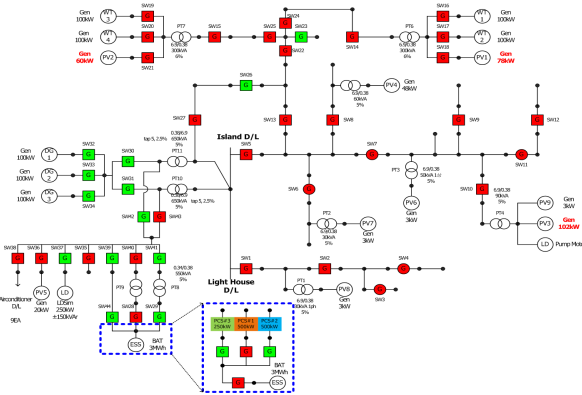


그림 1 가사도의 마이크로그리드 계통도
Fig. 1 Microgrid system of Ga-Sa Island

3.2 ASC case study

먼저 ASC 모드를 검증하기 위해 신재생 발전량 및 수요 예측 데이터를 이용하여 디젤 발전기와 BESS의 SOC 운전 계획을 계산하는 시뮬레이션을 실시해보았다. 입력 데이터는 가사도에서 측정한 2013년 풍속, 일사량 그리고 수요 정보를 이용하였다. 시뮬레이션 시나리오는 풍력 발전량이 낮은 경우, 풍력과 태양광 발전기 출력이 수요보다 낮은 경우, 풍속이 낮고 일사량이 높은 경우, 풍력과 태양광 발전기 출력이 좁은 구간에 집중 된 경우 총 4가지를 고려하여 안정적으로 전력을 공급하는지 살펴보았다.

3.2.1 Case 1

먼저 풍력 발전량은 낮고 태양광 발전량은 일반적인 경우이다. 입력 데이터는 아래와 같다.

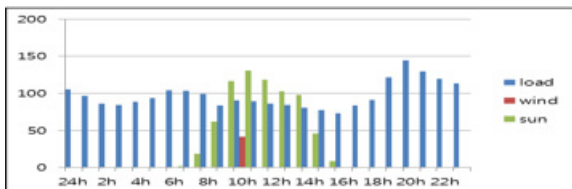


그림 2 Case 1에 대한 입력 데이터
Fig. 2 Input data for Case 1

위의 상황에서 ASC 계산을 이용하여 디젤 발전기의 출력량과 on/off 그리고 BESS의 SOC 운영에 대한 최적해를 구한 결과는 아래와 같다.

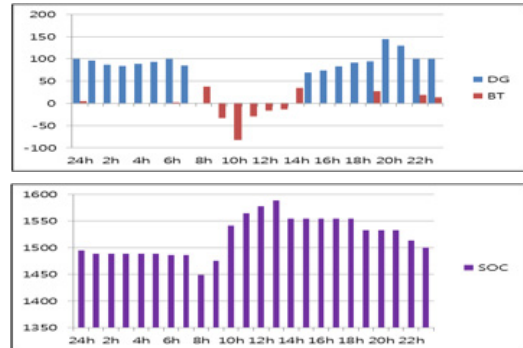


그림 3 Case 1에 대한 출력 데이터
Fig. 3 Output data for Case 1

신재생 발전기의 출력이 대체적으로 적기 때문에 풍력 발전기의 출력이 발생하는 구간을 제외한 모든 구간에서 디젤 발전기를 동작하는 것을 볼 수 있다.

3.2.2 Case 2

다음으로 풍력과 태양광 발전기 출력이 수요보다 낮은 경우이다. 입력 데이터는 아래와 같다.

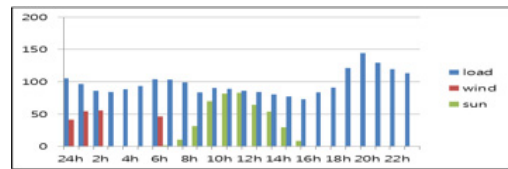


그림 4 Case 2에 대한 입력 데이터
Fig. 4 Input data for Case 2

위의 상황에서 ASC 계산을 이용하여 디젤 발전기의 출력량과 on/off 그리고 BESS의 SOC 운영에 대한 최적해를 구한 결과는 아래와 같다.

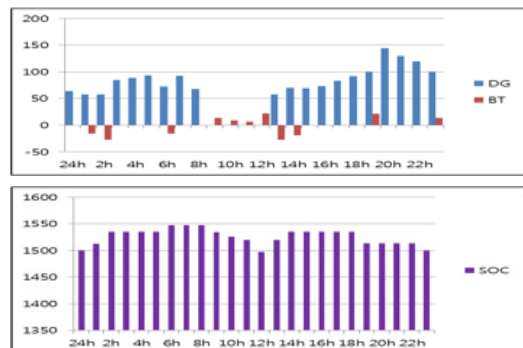


그림 5 Case 2에 대한 출력 데이터
Fig. 5 Output data for Case 2

Case 1과는 다르게 풍력 발전기의 출력이 발생했으며 해당 시간대에는 디젤 발전기의 출력이 비교적 낮게 계산된 것을 확인할 수 있다.

3.2.3 Case 3

풍속이 낮고 일사량이 높은 경우 이다. 입력 데이터는 아래와 같다.

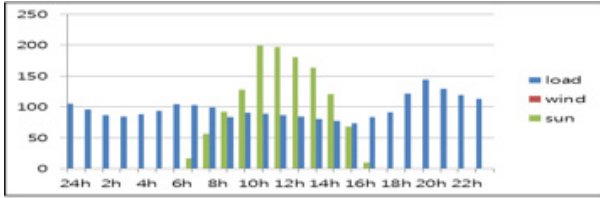


그림 6 Case 3에 대한 입력 데이터
Fig. 6 Input data for Case 3

위의 상황에서 ASC 계산을 이용하여 디젤 발전기의 출력량과 on/off 그리고 BESS의 SOC 운영에 대한 최적해를 구한 결과는 아래와 같다.

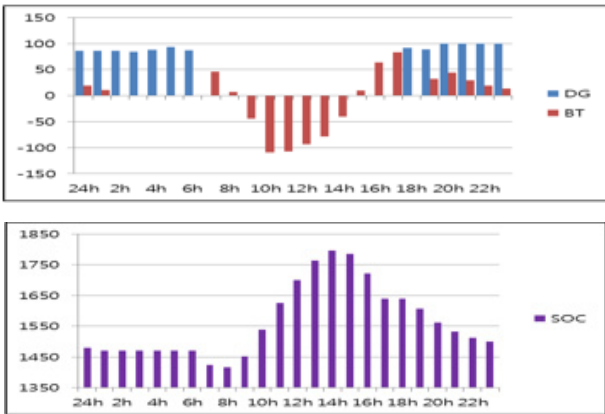


그림 7 Case 3에 대한 출력 데이터
Fig. 7 Output data for Case 3

풍력 발전기 출력은 없지만 일사량이 매우 좋아 태양광 발전기를 통한 발전이 매우 많기 때문에 디젤 발전기를 가동하는 시간대도 비교적 적게 계산되었다. 또한 많은 양의 풍력 발전이 예측되었기 때문에 해당 시간대에 BESS를 충전하여 SOC를 높인 후 최종 시점에는 목표로 했던 SOC 50%를 기록하였다.

3.2.4 Case 4

풍력과 태양광 발전기 출력이 좁은 구간에 집중된 경우 이다. 입력 데이터는 그림 8과 같다.

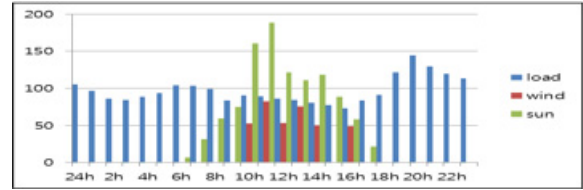


그림 8 Case 4에 대한 입력 데이터
Fig. 8 Input data for Case 4

위의 상황에서 ASC 계산을 이용하여 디젤 발전기의 출력량과 on/off 그리고 BESS의 SOC 운영에 대한 최적해를 구한 결과는 아래와 같다.

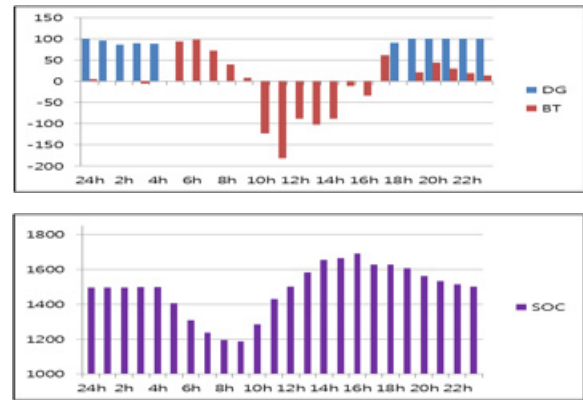


그림 9 Case 4에 대한 출력 데이터
Fig. 9 Output data for Case 4

풍력과 태양광 발전기 모두 비교적 좁은 구간에서 발전을 실시하였지만 전체적인 신재생 발전량의 총합은 많기 때문에 디젤 발전기를 이용한 발전이 가장 적은 경우이다.

3.3 DEC case study

두 번째 시뮬레이션으로 DEC를 통하여 SOC가 안전 운전 기준 범위를 벗어난 경우 이를 다시 회복시키는 과정을 살펴보고 하겠다. SOC의 안전 운전 기준 범위는 20% ~ 80%로 가정하였다. 또한 SOC를 회복할 때 안전 운전 기준 범위 이내로 들어왔다고 해서 DEC동작을 종료하면 SOC가 충방전을 반복하면서 DEC를 반복적으로 동작시킬 염려가 있다. 때문에 DEC를 종료하기 위해서는 SOC가 75%와 25%가 되었을 때 상한 기준 회복과 하한 기준 회복 동작을 정지하도록 설정하는 것이 좋다. 제어 time step은 15분이라 가정하였다.

3.3.1 SOC 상한 기준 회복 Case

우선 BESS의 SOC가 85%가 되어 상한 기준을 초과한 경우를 살펴보고 하겠다. 당시의 마이크로그리드 상황 및 설비의 제어 정보는 아래 표 1과 표 2와 같다고 가정하였다.

표 1 SOC 상한 기준 초과시의 계통 상황

Table 1 System situation at SOC upper standard exceed

| | | | |
|----------|---------|-------------|---------|
| Demand | 100[kW] | BESS charge | 340[kW] |
| DG Gen | 0[kW] | BESS SOC | 85[%] |
| WT Gen | 100[kW] | Total Gen | 450[kW] |
| PV Gen | 350[kW] | Net Load | 110[kW] |
| Pump Mtr | 10[kW] | | |

표 2 SOC 상한 기준 초과시의 제어 전략

Table 2 Control strategy at SOC upper standard exceed

| Control Priority | Device Name | Current Status | Current Output[kW] |
|------------------|-------------|----------------|--------------------|
| 1 | PV #2 | On | 150 |
| 2 | WT #1 | On | 100 |
| 3 | PV #1 | On | 200 |
| 4 | A/C #1 | Off | 0 |

현재 SOC가 85%, 목표 SOC가 75%, BESS의 충전 전력이 340kW이므로 식 (10)을 통해 계산한 PCS 목표 방전 전력은 350kW이다. 표 2를 통해 확인할 수 있듯이 제어 우선순위 2번까지 제어를 하게 되면 총 350kW의 충전 전력을 감소시킬 수 있다. 즉 BESS의 현재 충전 전력이 340kW이므로 350kW의 방전력을 끄면 최종적으로는 BESS에서 방전 되는 전력이 10kW이다. 제어 결과 SOC의 변화를 살펴보면 다음의 그림과 같다.

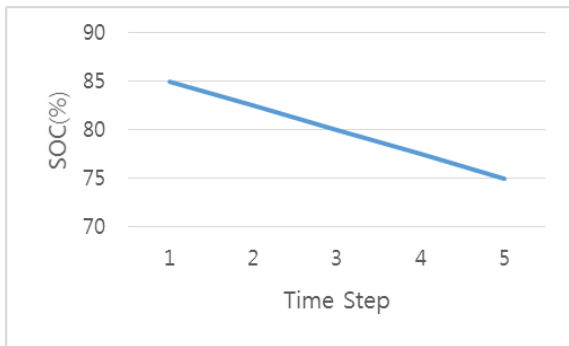


그림 10 SOC 회복 제어 동작으로 인한 감소 추이
Fig. 10 SOC reducing after recovery control

3.3.2 SOC 하한 기준 회복 Case

다음으로 BESS의 SOC가 15%가 되어 하한 기준 미만으로 내려간 경우를 살펴보겠다. 당시의 마이크로그리드 상황 및 설비의 제어 정보는 아래 표 3과 표 4와 같다고 가정하였다.

현재 SOC가 15%, 목표 SOC가 25%, BESS의 방전 전력이 60[kW]이므로 식 (10)을 통해 계산한 PCS 목표 충전 전력은 70kW이다. 표 4를 통해 확인할 수 있듯이 제어 우선순위 3번까

표 3 SOC 하한 기준 미만시의 계통 상황

Table 3 System situation at SOC lower standard below

| | | | |
|----------|---------|-------------|---------|
| Demand | 110[kW] | BESS charge | -60[kW] |
| DG Gen | 70[kW] | BESS SOC | 15[%] |
| WT Gen | 0[kW] | Total Gen | 70[kW] |
| PV Gen | 0[kW] | Net Load | 130[kW] |
| Pump Mtr | 20[kW] | | |

표 4 SOC 하한 기준 미만시의 제어 전략

Table 4 Control strategy at SOC lower standard below

| Control Priority | Device Name | Current Status | Current Output[kW] |
|------------------|-------------|----------------|--------------------|
| 1 | DG #1 | On | 70 |
| 2 | Pump Mtr | On | 20 |
| 3 | WT #1 | Off | 0 |
| 4 | WT #2 | Off | 0 |

지 제어를 하게 되면 총 20[kW]의 방전 전력을 끄고 50[kW]의 충전 전력을 킬 수 있다. 이때 WT #1은 킬 경우 20kW를 즉시 발전 할 수 있다고 가정한다. 즉 최종적으로 BESS에 충전되는 전력은 10kW이다. 제어 결과 SOC의 변화를 살펴보면 다음의 그림과 같다.

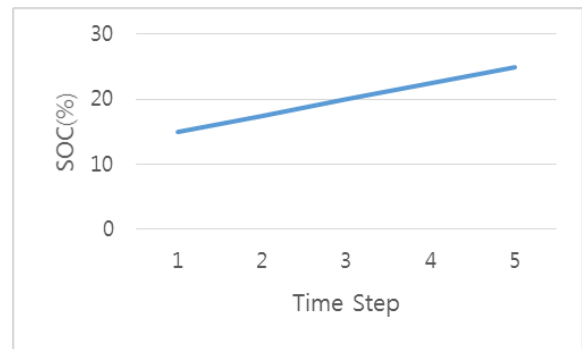


그림 11 SOC 회복 제어 동작으로 인한 증가 추이
Fig. 11 SOC increase after recovery control

4. 결 론

주파수 제어용 BESS가 연계된 마이크로그리드에서는 BESS의 특성을 고려하여 계통을 안정적이고 경제적으로 운영할 수 있는 운영 시스템이 도입되어야 한다. 본 논문에서는 신재생 전원 출력과 수요 예측 데이터를 이용하여 디젤 발전기, 상수도 펌프 모터의 on/off 및 출력을 계산하는 기동지계획을 계산하는 ASC 모드를 제안하였다. 기동지계획을 계산하기 위해서는 발전 설비의 기동비용과 연료비용 총합을 최소화해야 하며 디젤 발전기

및 BESS의 특성을 반영한 여러 가지 제약조건들을 만족해야 한다.

예측 데이터가 실측 데이터에 비하여 차이가 큰 경우 계획대로 설비들을 운영할 수 없으며 이 경우 BESS의 SOC에 큰 영향을 미치고 이는 계통 운영을 위협하는 요소이다. 이러한 상황이 발생하는 경우 SOC를 안전 운영 기준 범위 이내로 회복시키기 위하여 본 논문에서는 DEC를 제안하였다.

또한 전라남도 가사도를 모델로 적용하여 ASC와 DEC 각 모드에 대한 시뮬레이션을 테스트하였다.

References

- [1] L. Freris, and D. Infield, "Renewable Energy in Power Systems", WILEY, 2007.
- [2] R. Teodorescu, M. Liserre, and P. Rodriguez, "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", WILEY, 2010.
- [3] Z. Lubosny, "Wind Turbine Operation in Electric Power Systems", Springer, 2003.
- [4] M. R. Patel, "Wind and Solar Power Systems - Design, Analysis, and Operation - Second Edition", Taylor & Francis, 2005.
- [5] M. G. Simoes, and F. A. Farret, "Renewable Energy Systems - Design and Analysis with Induction Generators", CRC Press, 2004.
- [6] F. P. Sioshansi, "Smart Grid - Integrating Renewable, Distributed, & Efficient Energy", Academic Press, 2011.
- [7] A. Yazdani, and R. Iravani, "Voltage-Sourced Converters in Power Systems - Modeling, Control, and Applications", WILEY/IEEE Press, 2009.
- [8] P. E. Gill, W. Murray, and M. H. Wright, "Practical Optimization", Academic Press, INC., 1981.
- [9] C. A. Gross, "Power System Analysis - Second Edition", WILEY, 1986.

저 자 소 개



이 하 립 (Ha-Lim Lee)

1983년 10월 3일 생. 2010년 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기정보제어공학과 석사. 2012년~현재 동 대학원 전기정보제어 공학과 박사과정.



전 영 환 (Yeong-Han Chun)

1961년 2월 8일생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 석사. 1985~1994년 한국전기연구원 연구원. 1997년 일본 동경대학교 전기공학과 박사. 1998~2002년 한국전기연구원 그룹장. 2002~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수.