

배터리 충방전특성을 고려한 제주계통의 적정 ESS용량과 탄소배출량 산정에 관한 연구

A Study on the Evaluation of the ESS Capacity of Considering for Charge-Discharge Characteristic and CO₂ Emission in Jeju

구 분 회* · 차 준 민*
(Bon-Hui Ku · Jun-Min Cha)

Abstract - South Korea's power consumption is increasing every year. For stable electric power supply, more generation facilities are needed. But it is not easy to build nuclear power generation facilities, so provision of renewable energy is thought of as the solution. For the system's stable management, practical use of energy storing system is needed. Currently, pumping up electric power station is considered most useful. In this study, we have calculated the least amount of energy storing device by considering the renewable energy, HVDC, and change in power for the appliance of ESS in Jeju system, according to The 6th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand. Also we have calculated the amount of the battery and about the load equalizing effect to use battery as power storing device. Finally, we have calculated the reduction of electricity generation and the reduction of CO₂ emission with this study.

Key Words : ESS, BESS, CO₂ emission, The basic plan for long-term electricity supply and demand

1. 서 론

산업의 발전과 전기기기의 보급으로 인하여 우리나라의 전력 소비는 매년 증가하여 평균 4.4%의 증가율을 보이고 있다. 피크부하에 대응하기 위하여 전력 수요의 증가에 따라 발전소의 증설 및 신재생에너지의 보급이 대안으로 제시되고 있지만 변동성이 큰 신재생에너지의 직접적인 계통투입은 다른 발전원의 대응이 필요하며, 원자력발전은 설비의 증설뿐만 아니라 부하변동에 즉각적인 대응이 어려운 특성을 보이고 있다. 계통의 안정적인 운영을 위하여 에너지저장장치에 대한 필요성은 항상 있어 왔으며 이에 대한 역할을 주로 양수발전소에서 담당하여왔다.

6차 전력수급기본계획에 따르면 스마트그리드 확산을 위하여 에너지저장시스템(Energy Storage System: ESS)을 2015년 500MW, 2020년까지 2,000MW로 확대할 예정이다 [1]. ESS의 적용으로 풍력발전 등의 변동이 심한 발전원의 출력을 효율적으로 사용 가능하며, 계통 발전원의 구성에 따라 ESS를 도입하여 효과적인 운영이 가능하다.

본 연구에서는 제주계통의 에너지저장장치 적용을 위하여 제 6차 전력수급기본계획을 바탕으로 신재생에너지, HVDC, 출력변동량 등을 고려하여 에너지저장장치의 최소용량을 산정하고, 배터리를 전력저장장치로 사용하기 위한 특성을 반영하여 용량을 산정하고 부하평준화 효과에 대하여 연구하였다. 또한, 이를 통하여 화력발전설비를 이용한 발전량 감

소를 통한 탄소배출 감축량을 산정하였다.

2. 에너지저장장치

2.1 에너지저장장치

ESS는 전력의 공급과 수요의 균형을 유지하기 위하여 사용 가능하며, 전력 수요가 적을 때 유휴전력을 저장하고 과부하이거나 비상시에 전력을 공급하여 피크부하의 분산을 통하여 투자비를 절감하고 전력예비력을 높여 대규모 정전 사고에 효과적으로 대응할 수 있다. 전력계통에서의 에너지저장장치의 역할은 충방전 주기에 따라 장기와 단기로 구분 가능하다. 단기적인 역할로는 주파수 및 전압조절, 전력 품질개선, 신재생에너지원 출력변동성 개선 등의 역할이 가능하며 장기적인 역할로는 첨두부하 삭감(peak shaving)과 부하평준화(load leveling)를 통한 부하의 이동을 목적으로 한다. ESS는 신재생에너지의 불안정한 출력을 보상해 주는 역할도 함께 하고 있다. 현재 사용중인 ESS중 양수발전은 경부하 시에 잉여전력으로 양수하고 피크 부하 시에 발전하여 계통 안정도를 높이는 방법으로 사용되고 있다. ESS의 종류는 배터리 에너지저장장치(Battery Energy Storage System : BESS), 플라이휠, 압축공기 에너지 저장 등이 있으며 현재 양수발전이 가장 널리 사용되고 있다.

2.2 배터리를 이용한 에너지저장장치

배터리 에너지 저장장치는 화학적인 방법을 통하여 전력 에너지를 저장하는 것을 말하며 부하평준화 뿐만 아니라 전력품질 및 피크부하대응용으로 사용되고 있다. BESS에는 리튬이온전지, NaS전지, 납축전지 등이 있다. 이 중 가장 광범위하게 사용중인 리튬이온전지는 에너지밀도와 효율이 높

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Daejin University, Korea

E-mail : chamin@daejin.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Daejin University, Korea

Received : December 30, 2013; Accepted : February 18, 2014

으나 비용이 많이 들고 셀 용량이 작기 때문에 부하평준화 용으로는 NaS전지가 주로 이용되고 있다. NaS전지는 에너지밀도가 높고 대용량화가 가능한 반면 고온시스템 사용으로 인한 위험성이 존재한다.

BESS는 출력변동이 큰 신재생에너지원과 연계되어 중요한 요소로 작용한다. 특히 제주와 같이 풍력발전의 생산이 심야에 집중된 계통의 경우는 풍력발전의 출력을 BESS가 저장하고 부하시간에 방전하여 일정한 전력을 공급하는 역할을 한다. 현재 세계적으로 BESS의 계통연계 프로젝트가 실증단계로 운영되고 있으며 주파수조정, 예비력, 부하평준화 등의 목적을 가지고 운영되고 있다.

3. 배터리 특성을 고려한 ESS용량 산정 알고리즘

제주계통에 적용가능한 최소 ESS용량을 산정하기 위하여 최대 수요와 발전기의 출력가능용량, HVDC연 계선 등을 고려하고, BESS의 최소 용량을 부하패턴에 적용한 경우 BESS운영 효과와 탄소배출감축량을 산정한다. BESS용량 산정과 탄소배출량 산정방법은 그림 1과 같다.

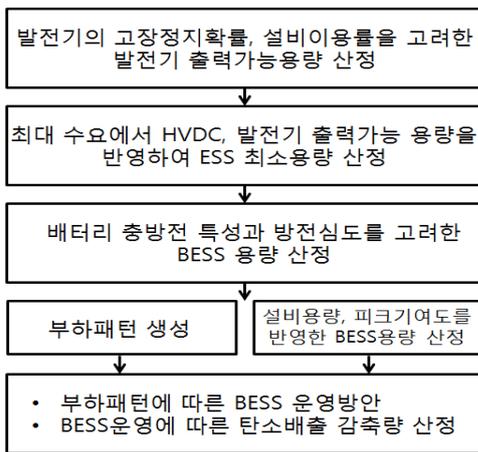


그림 1 BESS용량 산정 및 효과 분석 방법
Fig. 1 Evaluation of the BESS Capacity and Effect Analysis method

3.1 에너지저장장치 용량 산정

전력계통에 적용 가능한 에너지저장장치의 적정 설비용량을 산정하기 위해서는 먼저 전체 계통의 출력변동을 고려한 출력가능용량(X_T)을 산정한다. 출력가능용량은 전체 발전기의 설비용량에 발전기의 고장정지확률을 적용한 용량과 풍력발전기의 설비용량에 이용률을 반영한 결과의 합으로 표현할 수 있다. 모든 발전기의 고장정지확률은 0.5[%]를 일괄 적용하며, 풍력발전기의 이용률은 20[%]를 적용한다[2-3].

$$X_T = PG \times (1 - X_{FOR}) + WG \times X_V \quad (1)$$

- 단, X_T ; 출력변동을 고려한 출력가능용량[MW]
- PG ; 전체 발전기의 설비용량[MW]
- X_{FOR} ; 발전기의 고장정지확률[PU]
- WG ; 풍력발전기의 설비용량[MW]

X_V ; 풍력발전기의 이용률[PU]

에너지저장장치의 최소설비용량 C_{ESS} 을 결정하기 위하여 계통의 최대수요에서 HVDC용량, 출력변동량을 차감하여 값을 산정한다. HVDC 설비용량은 예비선로로 이용되는 용량과 1회선의 송전용량의 여유분을 고려하여 설비의 이용 비율 S 의 변화에 따라 C_{ESS} 를 산정한다.

$$C_{ESS} = L_{max} \times (1 + R) - (C_{HVDC} \times S) - X_T \quad (2)$$

- 단, C_{ESS} ; 에너지저장장치의 최소설비용량[MW]
- L_{max} ; 최대수요[MW]
- C_{HVDC} ; HVDC용량[MW]
- S ; HVDC 송전용량의 비율[PU]
- R ; 설비에비율[PU]

3.2 배터리 특성을 이용한 ESS의 운영

BESS의 동작은 충전상태와 방전상태로 나누어 정의할 수 있다. 다음 식은 배터리의 충방전 상태의 배터리 내부의 에너지이다. 다음 식 (3)과 식(4)는 배터리의 충방전상태의 에너지를 나타낸다[4-5].

$$\text{충전: } E^{t+1} = E^t + \eta_c P_{cell}^t \times \Delta t \quad (3)$$

$$\text{방전: } E^{t+1} = E^t - \frac{P_{cell}^t}{\eta_d} \times \Delta t \quad (4)$$

- 단, E^t ; t시간에 배터리 내부 축적 에너지[kWh]
- P_{cell}^t ; t시간에 배터리 모듈의 입력 전력[kW]
- η_c ; 충전효율
- η_d ; 방전효율

충전상태의 배터리는 충전효율에 의해 배터리 내부에 충전이 되고, 유지상태에서는 주변 설비가 전력을 소비하며, 방전 상태에서 방전효율을 고려하여 정격전력보다 소비되는 에너지가 많게 된다.

충전가능 전력은 방전심도(Depth Of Discharge: DOD)에 의해 판단한다. 방전심도는 배터리의 방전상태를 나타내는 수치로, 일반적으로 정격용량에 대한 방전용량의 비로 나타낸다. 즉, 100%의 방전심도는 배터리 내부에 축적된 에너지를 모두 방전하여 사용하는 것이고, 80%의 방전심도는 배터리에 축적된 에너지의 20%는 사용하지 않고 80%만 출력

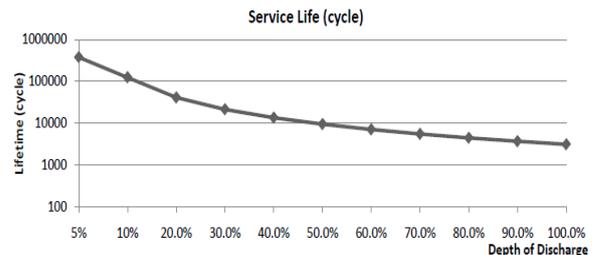


그림 2 배터리의 방전심도와 사이클[5]
Fig. 2 Depth of Discharge and Cycle of Battery

하여 사용하는 것을 의미한다. 방전심도는 배터리의 충방전 사이클과 수명에 영향을 준다[5].

4. 사례연구

4.1 제주계통의 특징

제주는 육지계통에 비하여 규모가 작고 사용하는 에너지의 대부분을 육지계통과의 연계선을 통한 공급에 의존하고 있어 불안정함을 보이고 있다. 현재 3기의 석유화력발전소와 제주-육지간 해저연계선(HVDC)으로 전력을 공급받고 있는 제주계통은 제 6차 전력수급계획에 따르면 화력발전(석유)설비를 더 이상 증설하지 않을 계획이며, 대규모 신재생에너지원이 투입될 예정이며 2027년에는 설비용량이 938MW까지 증가할 전망이다[1,6,7]. 제주계통의 화력발전 총 설비용량은 740MW이다. 중유와 등유를 사용하는 기력, 내연, 복합화력이 575MW이며 110MW의 조상기를 포함한 가스터빈이 165MW 포함된 용량이다. 다음 표 2는 2012년 한국전력통계에 실린 제주 화력발전설비와 발전현황이다[8].

표 1 제 6차 전력수급계획에 따른 제주계통의 전원구성
Table 1 The 6th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand in Jeju

| 연도 | 석유 | 신재생 | | HVDC | 최대수요 |
|------|-----|------|------|------|------|
| | | 정격용량 | 피크기여 | | |
| 2012 | 740 | 116 | 3 | 150 | 669 |
| 2013 | 740 | 149 | 4 | 400 | 715 |
| 2014 | 740 | 319 | 9 | 400 | 720 |
| 2015 | 740 | 574 | 13 | 400 | 738 |
| 2020 | 685 | 938 | 19 | 600 | 815 |
| 2024 | 685 | 938 | 19 | 600 | 850 |
| 2027 | 685 | 938 | 19 | 600 | 893 |

표 2 2012년 제주 화력발전 설비와 화력발전 현황
Table 2 Thermal Power Generating Unit and Condition of 2012 in Jeju

| | 발전소명 | 설비용량 [MW] | 발전량 [MWh] |
|----------|-------|-----------|-----------|
| 기력 (중유) | 제주 | 150 | 901,427 |
| | 남제주 | 200 | 1,310,473 |
| 복합화력(등유) | 한림 | 105 | 120,603 |
| 내연 (중유) | 제주GT | 165 | 2,313 |
| | 제주내연 | 80 | 471,846 |
| | 남제주내연 | 40 | 49,900 |
| | 합계 | 740 | 2,856,562 |

제주계통의 전력소비량은 꾸준히 증가하여 매년 약 5%의 증가를 보이며, 연간전력소비량과 발전량은 약 10%의 차이를 보이고 있다[8].

제주계통의 최대전력수요는 빠른 속도로 증가하여 2013년 8월 8일 오후 9시에 715MW의 최대전력이 발생하여 2014년도 최대수요 예상치(720MW)에 근접한 수요가 발생하였다. 제주계통은 전체 전력사용량의 48%정도를 서비스업에서 사용하고 있을 정도로 관광산업의 비중이 크게 나타나며, 관광

표 3 발전원별 발전량과 전력소비량

Table 3 Power generation and power consumption (단위: [MWh])

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HVDC | 1,146,540 | 1,015,469 | 1,181,431 | 1,175,007 | 1,144,895 |
| 기력 | 1,923,483 | 1,988,474 | 1,967,511 | 2,014,840 | 2,211,899 |
| 내연 | 334,670 | 507,627 | 523,945 | 602,019 | 521,713 |
| 복합 | 24,282 | 48,214 | 46,244 | 44,827 | 120,602 |
| 가스터빈 | 693 | 907 | 1,168 | 1,085 | 2,333 |
| 신재생 | 71,511 | 117,619 | 175,511 | 195,761 | 206,313 |
| 발전량 | 3,501,179 | 3,678,310 | 3,895,810 | 4,033,539 | 4,207,755 |
| 소모량 | 3,183,210 | 3,352,343 | 3,574,624 | 3,710,080 | 3,864,639 |

수요의 증가뿐만 아니라 무더위로 인한 열대야로 야간에 부하가 집중되는 특징을 보인다. 시간별 부하의 패턴을 구하기 위하여 1일 중의 최대부하를 1로 설정한 후, 시간별 부하의 값 P_i^{norm} 을 구할수 있다. 침두부하를 이용하여 정규화된 1일동안의 시간별 부하 P_i^{norm} 를 각 시간에 따라 평균값을 구하여 24시간 동안의 값을 얻을 수 있으며, 계산 결과의 최대값은 1보다 작기 때문에 최대값을 1로 보정하여 부하패턴을 얻을 수 있다. 다음 그림 3은 2009년 1월~2011년 8월까지의 부하 데이터를 사용한 부하의 패턴이다.

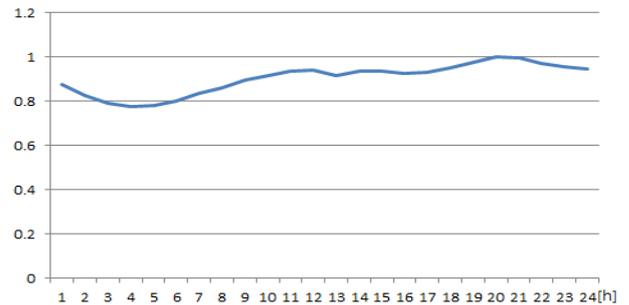


그림 3 2009년~2011년의 부하패턴
Fig. 3 Load Pattern in 2009~2011

그림 3의 부하 패턴에서 최대부하는 저녁 9시 사이 전후로, 기저부하는 새벽 4시 전후로 발생하는 것을 알 수 있다. 부하패턴을 통하여 다음 표 4와 같이 제주의 시간대별 부하상태를 구분하였다.

표 4 제주의 시간대별 부하상태
Table 4 Hourly load Condition in Jeju

| | 시간대 | 부하상태 |
|---|-------------|------|
| 1 | 02:00~06:00 | 경부하 |
| 2 | 06:00~19:00 | 중간 |
| 3 | 23:00~02:00 | 중간 |
| 4 | 19:00~23:00 | 최대 |

ESS의 이용은 기저부하시간에 충전하고 최대부하시간에 방전을 하는 것이다. 그러나 신재생에너지 중 풍력발전에서 생산된 에너지가 차지하는 비중이 큰 것에 비하여 전력을

생산하는 시간은 심야시간이기 때문에 공급가능한 용량과 실제 부하가 발생하는 시간과 일치하지 않는다. 그러므로 6차 전력수급기본계획의 피크기여도를 적용하여 공급가능한 ESS용량을 산정할 수 있다.

ESS의 용량을 산정하기 위하여 HVDC의 이용은 예비선로로 사용되는 HVDC 1회선의 용량을 총 용량의 50%로 가정하여 1회선만 사용하며, 송전용량을 100% 이용하는 경우와 송전에 사용되는 HVDC의 송전용량에 여유를 두고 50%의 송전용량을 갖는 경우를 가정한다.

BESS의 운영은 충전을 시작하여 정격용량으로 충전을 완료하면 충전상태를 유지하다가 수요가 증가하면 방전하여 방전심도까지 방전하여 동작하는 것을 가정하였다. 표 5는 NaS배터리의 사양에 대하여 나타낸다[5].

표 5 BESS(NaS)의 사양[5]

Table 5 BESS(NaS) Specification

| 배터리 용량 | 4MW |
|--------|-------|
| | 28MWh |
| 운영방전심도 | 90% |
| 보조설비용량 | 136kW |
| 충전효율 | 90% |
| 방전효율 | 95% |

4.3 ESS적용 후 탄소배출량 산정

탄소 배출량 산정은 사용한 에너지량에 탄소배출계수를 곱하여 산정하며, 신재생에너지원의 투입으로 인한 탄소배출저감량 산정방법은 전력을 사용하여 발생하는 탄소배출량과 화석연료를 통해 발생하는 탄소배출량에서 신재생에너지를 이용한 발전량과 연간 수전량에 해당하는 탄소배출량을 뺀 값과 같으며 다음 식 (5)와 같다. 우리나라는 국가고유 배출계수를 개발중에 있어 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 만든 배출계수를 적용한다[9].

$$C_E = ((EL_y^D \times C_1) + (GA_y^{ST} \times C_2)) - ((GA_y^{WS} \times C_2) + (EL_y^I \times C_1)) \quad (5)$$

- 단, C_E : 연간 탄소저감량
- EL_y^D : 연간 전력수요 (kWh)
- C_1 : 전력의 탄소배출계수
- GA_y^{ST} : 기존시스템 발전량
- C_2 : 발전원별 탄소배출계수
- GA_y^{WS} : 신재생에너지원 발전량
- EL_y^I : 신재생에너지 도입 이후의 연간 수전량 (kWh)

4.4 사례연구 결과

제주계통에 적용가능한 BESS의 최소용량을 산정하기 위하여 설비용량과 피크기여도를 반영하는 두 가지 방법으로 사례연구를 수행하였다. 실제 최대수요가 발생하는 시간인 피크기여용량을 반영한 경우 ESS의 필요성이 더 크다는 것을 알 수 있다.

표 6 IPCC 탄소배출계수

Table 6 IPCC Carbon Emission Factor

| 에너지원 | 탄소배출계수 [kg C/kWh] |
|-------|-------------------|
| 석탄 | 0.860 |
| 석유 | 0.689 |
| 가스 | 0.460 |
| 바이오매스 | 0.037 |
| 태양광 | 0.030 |
| 수력 | 0.016 |
| 풍력 | 0.011 |
| 지력 | 0.009 |
| 전력 | 0.384 |

표 7 제주계통에 적용 가능한 최소 ESS 설비용량 산정 결과

Table 7 Calculation Results of the Minimum Installed Capacity of ESS in Jeju

| | 설비용량 반영[MW] | 피크기여 반영[MW] |
|------|-------------|-------------|
| 2012 | 2.75 | 22.95 |
| 2013 | 7.35 | 33.15 |
| 2014 | -5.05 | 49.75 |
| 2015 | -63.65 | 38.15 |
| 2020 | -39.72 | 128.88 |
| 2024 | 11.88 | 180.48 |
| 2027 | 11.88 | 180.48 |

배터리를 이용하여 계통에 필요한 ESS를 운영할 경우 DOD에 의하여 설비용량 100%로 운영하는 것은 배터리 수명에 영향을 미치기 때문에 80%로 운영하는 것을 가정한다면 2013년을 기준으로 필요한 33.15MW를 공급하기 위하여 41.15MW의 배터리가 설치되어야 한다. BESS를 이용한 계통운영방법은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 에너지비용저감을 위한 운영방식이고, 두 번째는 최대전력수요 감소를 위한 부하평준화 운영이다. 부하평준화 효과를 산정하기 위하여 2009~2011년의 데이터를 통하여 일간 전력수요 패턴을 구한 후, 2013년 최대 부하를 반영하여 일간 패턴을 만든 후 표 3의 부하상태에 따라 BESS를 분배한다. 다음 그림 4는 에너지비용의 저감을 위해 일부하에 일정 용량의 BESS를 분배하여 정해진 시간에 충방전 동작을

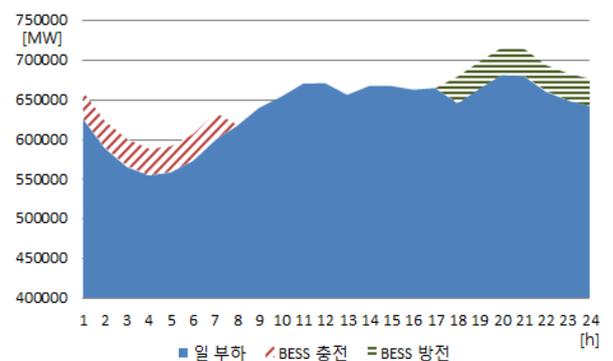


그림 4 에너지비용저감을 목적으로 한 부하평준화 효과
Fig. 4 Load Leveling Effect for Cost Reduction

시행한 부하곡선을 나타낸다. 그림 5는 부하 패턴을 예측하여 충방전을 위한 동작을 유지하도록 운영하여 최대부하의 감소를 위한 부하평준화 운전을 나타낸다.

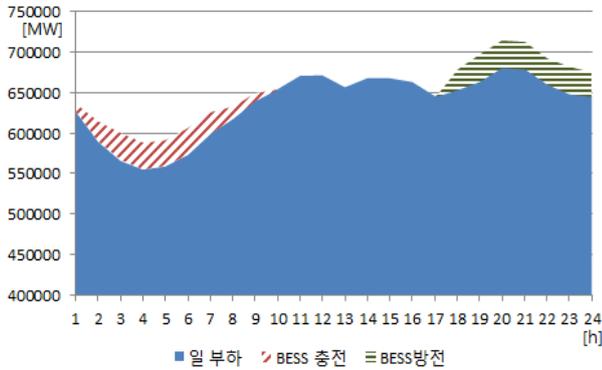


그림 5 최대부하 감소를 목적으로 한 부하평준화 효과
Fig. 5 Load Leveling Effect for the Reduction of peak load

BESS의 적용을 통하여 전력계통의 안정적인 전력공급이 가능하게 될 것이며, 피크부하의 분산을 통하여 부하율의 증가하는 효과를 얻을 수 있다.

BESS를 적용하여 발생하는 탄소배출량을 산정하기 위하여 제 6차 전력수급계획의 전력소비량과 설비용량을 기준으로

표 8 발전원별 설비이용률
Table 8 Power Source Capacity Factor
(단위: [%])

| | HVDC | 기력 | 내연 | 복합 | 가스터빈 | 신재생 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 2012 | 87.1 | 72.1 | 74.4 | 13.1 | 0.2 | 22.1 |
| 2011 | 89.4 | 65.7 | 57.3 | 3.1 | 0.1 | 23.8 |
| 2010 | 89.9 | 64.2 | 49.8 | 3.2 | 0.1 | 21.4 |
| 2009 | 77.3 | 64.9 | 48.3 | 3.3 | 0.1 | 16.5 |
| 2008 | 87.3 | 62.7 | 31.8 | 1.7 | 0.0 | 23.3 |
| 평균 | 86.2 | 65.9 | 52.3 | 4.9 | 0.1 | 21.4 |

표 9 제 6차 전력수급기본계획에 의한 발전원별 발전 전력량
Table 9 Generation Electricity by 6th National Electricity Supply and Demand Planning
(단위: [MWh])

| | 전력 소비량 | 화력발전 | | 신재생 | HVDC |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | 기력·내연·복합 | 가스 | | |
| 2012 | 3,864,639 | 2,854,214 | 2,333 | 206,313 | 1,144,895 |
| 2013 | 3,937,000 | 2,976,867 | 1,300.86 | 279,321.4 | 1,132,668 |
| 2014 | 4,058,000 | 2,976,867 | 1,300.86 | 598,010.2 | 3,020,448 |
| 2015 | 4,183,000 | 2,976,867 | 1,300.86 | 1,076,043 | 3,020,448 |
| 2020 | 4,839,000 | 2,976,867 | 867.24 | 1,758,412 | 4,530,672 |
| 2024 | 5,363,000 | 2,976,867 | 867.24 | 1,758,412 | 4,530,672 |
| 2027 | 5,720,000 | 2,976,867 | 867.24 | 1,758,412 | 4,530,672 |

로 연간 발전량을 산정할 수 있다. 발전원별 연간 발전량 산정을 위하여 설비이용률을 고려하였다. 설비이용률은 2008년~2012년 5년간의 발전원별 설비이용률의 평균으로 가정하였으며 표 8과 같다. 제 6차 전력수급기본계획의 발전설비에 설비이용률을 반영한 발전량은 표 9와 같다.

표 10 BESS·HVDC·신재생에너지를 적용한 탄소배출량과 감축량
Table 10 Result of Carbon Emissions and Reductions using BESS·HVDC·Renewable Energy
(단위: T-CO₂)

| | 전력 소비 | 화력 | 신재생 | HVDC | 배터리 | 탄소 배출량 | 탄소 감축량 | CO ₂ 감축량 [T-CO ₂] |
|------|-----------|-----------|--------|--------|-------|-----------|-----------|--|
| 2012 | 1,484,021 | 1,927,138 | 2,269 | 12,594 | 646 | 3,426,669 | 40,319 | 173,374 |
| 2013 | 1,511,808 | 1,943,264 | 3,073 | 12,459 | 927 | 3,471,531 | 106,814 | 459,301 |
| 2014 | 1,558,272 | 401,505 | 6,578 | 33,225 | 1,405 | 2,000,985 | 1,625,289 | 6,988,742 |
| 2015 | 1,606,272 | 89,744 | 11,836 | 33,225 | 1,124 | 1,742,201 | 1,933,585 | 8,314,415 |
| 2020 | 1,858,176 | 399 | 19,343 | 10,387 | 3,626 | 1,891,930 | 2,043,503 | 8,787,063 |
| 2024 | 2,059,392 | 399 | 19,343 | 13,861 | 5,059 | 2,098,053 | 2,044,936 | 8,793,226 |
| 2027 | 2,196,480 | 399 | 19,343 | 18,181 | 5,059 | 2,239,461 | 2,044,936 | 8,793,226 |

2003년~2012년 운영 실적[8]에 따르면 제주계통의 발전량이 전력소비량보다 약 10% 크게 나타나므로, 제주계통에 필요한 총 발전량은 전력소비량의 110%를 가정하였다. 배터리와 신재생에너지가 화력발전을 대체하여 우선 투입되고 발전량의 부족분을 HVDC로 공급할 때, 탄소배출량 산정결과를 표 10에 나타내었다. 화력발전설비 중 기력·내연·복합발전기를 사용하지 않더라도 조상기로 사용하기 위한 가스터빈은 운영하는 것으로 가정하였다.

2012년 제주계통의 전력소비량은 3,864,639MWh이고, 총발전량은 4,207,755MWh 이다. 사례연구결과 2012년에 필요한 BESS의 용량은 23MW로, 1년동안 사용한다면 배터리의 연간 발전량은 58,765MWh이다. 배터리를 계통운영에 사용하면 유류를 이용한 화력발전소의 발전량을 2,759,449MWh로 감축할 수 있다. 탄소배출량을 비교하여 보면 BESS를 적용하기 전 탄소배출량은 3,466,988T-C에서 3,426,669T-C로 40,319톤 만큼의 탄소를 감축할 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 173,374톤의 이산화탄소를 감축하는 것과 같은 효과이다.

5. 결 론

본 논문에서는 제주계통에 에너지저장장치를 적용하기 위하여 6차 전력수급기본계획의 전원설비구성전망을 바탕으로 에너지저장장치의 최소용량을 산정하였다. 에너지저장장치 중 침투부하삭감과 부하평준화 역할을 동시에 수행가능한 전력용 배터리에너지저장장치(BESS)의 특성을 이용하여 BESS의 최소용량을 산정하고 운영효과를 알아보았으며, BESS의 계통적용시의 탄소배출 감축량을 산정하였다.

1. 발전기의 출력변동량과 풍력발전, HVDC의 설비이용률 등을 고려하여 에너지저장장치의 최소용량을 산정한 결

- 과 신재생에너지의 용량이 증가할수록 에너지저장장치를 통한 계통운영의 필요성이 큰 것으로 나타났다.
2. 배터리에너지저장장치의 충방전특성과 방전심도를 고려하여 BESS를 운영하기 위한 용량을 산정하였고, 전력수요패턴을 이용하여 부하상태에 따라 BESS를 분배하여 최대수요 감소효과와 부하평준화 효과가 있음을 확인하였다.
 3. 제주계통은 신재생에너지를 통한 발전량이 전력소비량보다 커질 것으로 전망되므로 화력발전을 대체하여 BESS와 신재생에너지원으로 계통운영이 가능하다. 화력발전 설비의 대체 효과로 탄소배출량을 산정을 통하여 탄소와 이산화탄소 배출 저감효과가 있음을 확인하였다.
 4. 추후 비용최적화 및 부하수준 등을 고려한 최적 ESS용량 산정에 이용 가능하며, ESS적용 시 경제성 분석에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2011-0025471)

References

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, "The 6th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand"
- [2] Jae-Gul Lee, Jeong-Hoon Sjin, Young-Do Choy, Su-Chul Nam, Tae-Kyun Kim, "A Study on the Method to Evaluate Minimum Capacity of Energy Storage System(ESS) for Micro-Grid Design", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.23, No.10, pp,58 ~58 2009
- [3] Bon-Hui Ku, Jun-Min Cha, "A Study on Necessity for the Application of ESS in Jeju power system", the Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conference 2013. 7
- [4] Sung-Min Cho, Hee-Sang Shin, Jae-Chul Kim, "Modeling of Battery Energy Storage System at Substation for Load Leveling and Its Economic Evaluation", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61, No. 7, pp. 950~956, 2012
- [5] Carl Johan Rydh, Bjorn A.Sanden, "Energy analysis of batteries in photovoltage system. part 2: Energy return factors and overall battery efficiencies", 2005
- [6] KPX, "2012 Power System Operating Actual Results in Jeju", 2013.2
- [7] KPX, "2012 Generating Equipment Current State", 2013.7
- [8] KEPCO, " KEPCO Statistics", 2013.5
- [9] Jong-Hyun Lee, So Yeong Seol, Won-suk Ko,

Si-Hwa Bae, Jung-In Choi, Jun-Hee Hong, "Calculating the Optimal Capacity of Energy Storage System to Reduce CO₂ Emission for Power System in Je-Ju", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol.59 No.7, 2010.7

[10] Korea Energy Economics Institute, "2012 Energy Statistical Yearbook", 2013.1

저 자 소 개



차 준 민 (車 濬 敏)

1964년 5월 9일생. 1989년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 대전대 전기전자통신공학부 교수.

Tel : 031-539-1915

Fax : 031-539-1910

E-mail : chamin@daejin.ac.kr



구 본 희 (具 本 熙)

1984년 5월 4일생. 2008년 대전대 공대 전기정보시스템공학과 졸업. 2010년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년~현재 동대학원 전기전자통신공학부 박사과정.

Tel : 031-539-1910

Fax : 031-539-1910

E-mail : kbonhui@nate.com