

## 확률론적 방법론을 이용한 마이크로그리드(MG)의 에너지 저장장치(ESS) 최소 필요용량 및 투자시점 결정방법

(A Study on the Method to Evaluate Minimum Capacity of Energy Storage System(ESS) for  
Micro Grid(MG) Design)

이재걸\* · 신정훈 · 남수철 · 백승묵

(Jae-Gul Lee · Jeong-Hoon Shin · Su-Chul Nam · Sung-Muk Baek)

### 요 약

Micro Grid(MG)는 새로운 개념의 전력시스템으로 Smart Grid 기술의 일환으로 관심을 받고 있다. 기본적인 MG의 개념은 신/재생에너지를 포함한 분산전원의 도입 및 효율적인 계통운영이지만 여기에는 전력 공급의 신뢰성과 경제성이 배제될 수 없는 요소임은 확실하다. MG라는 새로운 계통의 개념을 도입하는데 있어서 기존 전력계통(Utility Grid)과의 간섭, 신뢰도 및 전력품질의 문제들이 해결해야 하는 숙제로 떠오르고 있는데 이에 대한 대안 중 하나가 에너지저장기술이다. 그러나 본 기술은 아직까지는 초기투자비 및 운영유지비가 매우 높은 수준이기 때문에 MG의 설계에 있어서 신뢰도와 경제성을 함께 고려한 Energy Storage System(ESS)의 설치방법이 필요로 된다. 이에 본 논문에서는 공급신뢰도기준을 충족할 수 있는 ESS의 최소필요용량 및 적정투자시점을 결정하는 확률론적 방법을 제안하고 이에 대한 사례연구를 수행하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a probability method to determine minimum capacity of energy storage system(ESS) for Micro Grid(MG). Because of high capital cost of ESS, it's very important to determine optimal capacity of ESS and for stable operation of MG and we should determine minimum capacity of ESS. The proposed method has abilities to consider forced outage rate of generators and intermittent of non-dispatchable generators and minimum capacity make MG keep energy balancing by oneself.

Key Words : Energy Storage System(ESS), Micro-Grid(MG), Wind Turbine(WT), Photovoltaic(PV)

\* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원 선임보연연구원  
Tel : 042-865-5833, Fax : 042-865-5814  
E-mail : jaelry@kepco.co.kr  
접수일자 : 2010년 3월 22일  
1차심사 : 2010년 3월 23일  
심사완료 : 2010년 5월 3일

## 1. 서 론

Micro Grid(MG)는 소규모 분산발전시스템과 수요자들이 별도의 소규모 망을 구성하여 에너지를 공급하는 새로운 개념의 전력시스템으로 Smart Grid 기술의 일환으로 관심을 받고 있는 분야이다.

본 MG는 분산발전시스템(신/재생포함)의 도입 및 효율적인 운영이 가능하여 친환경적인 전력시스템의 구현이 가능하다는 장점을 지니고 있는 반면 MG라는 새로운 계통의 개념을 도입하는데 있어서 기존 전력계통(Utility Grid)과의 간섭, 신뢰도 및 전력품질의 문제들이 해결해야 하는 숙제로 떠올랐다. 이러한 문제의 해결을 위한 다양한 해결책이 제시 및 적용되고 있으며, 에너지저장기술(Energy Storage Technology)의 적용도 이러한 노력의 하나이다. 본 기술의 적용에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며[1], 또한 국외에서는 전력시장 환경에서의 ESS에 대한 경제적 가치를 평가하고자 하는 노력도 계속 되고 있다[2-4]. 또한 MG의 계획에서 최적의 ESS용량 산정에 관한 연구도 수행되었으나 이는 발전기의 출력변화만을 고려하였다는 한계점을 가지고 있다[5]. 선행된 연구에서도 알 수 있듯이 ESS에 대한 설비투자비용은 아직은 매우 높은 수준이기 때문에 적정한 설비투자에 대한 의사결정이 매우 중요하며 적정한 공급신뢰도를 함께 고려한 적정설비 투자결정기법의 개발이 필요로 되고 있다. 이에 본 논문에서는 MG의 계획단계에서 설비구성에 따른 적정한 ESS의 최소용량 및 적정투자시점을 산정하는데 유용한 정보를 제공할 수 있는 확률론적 방법론을 제시하였으며 사례연구를 통하여 이에 대한 타당성을 검토하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 MG의 기본개념

아래의 그림은 본 논문에서 MG로 정의하고 있는 Utility MG의 개념을 보여주고 있다. Utility MG는 주계통과 연계되어 있으며, 계통에 다양한 발전설비와 부하가 함께 접속되어 있는 형태이다.

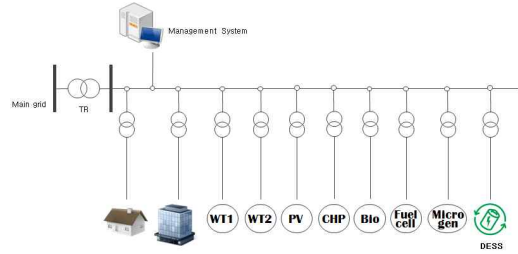


그림 1. MG의 개념도  
Fig. 1. Concept of MG

MG는 Grid connected 모드와 Isolated grid 모드로 운전될 수 있으며 어떤 모드 상태이던지 보호협조, 신뢰도 및 전력품질의 측면에서 타 계통의 운영에 영향을 주지 않아야 한다[1]. 즉 MG는 자체적인 수급 조절 능력 및 이상 시 계통분리 등의 능력을 가지고 있어야 한다는 것을 의미한다. 이 때문에 MG의 설계시 급격한 부하 및 발전설비의 출력변동이나 설비고장에 대한 대비책을 수립하여야 하는데 본 논문에서 다루고자 하는 대비책은 적정용량의 ESS를 설치하는 것이다.

### 2.2 에너지저장장치(ESS)의 적용

ESS기술의 적용은 MG에서 수요와 공급이 일치하지 못하는 경우 그 완충장치로서의 역할을 하게 되며 MG의 안정적인 전력공급에 기여할 수 있다. 분산전원 즉, 발전기들이 일정한 출력을 지속할 수 있도록 수요와 공급의 차이를 공급하고, 풍력발전이나 태양광발전의 출력변동 및 부하의 급격한 변동을 감당해 줄 수 있으며[6], 발전설비 및 변전설비의 고장 시 급격한 출력 변동을 일시적으로 감당함으로써 MG의 공급신뢰도를 향상시킬 수 있다. 이러한 ESS의 역할 때문에 MG의 계획에 있어서 그 중요성이 부각되고 있는 것이다.

ESS기술은 Battery, 압축공기 및 Flywheel 등이 적용될 수 있으나, 본 논문에서는 MG시스템 설계의 관점에서 그 종류와 상관없이 에너지저장장치로 총칭하여 그 용량 및 투자시점을 결정하는 것으로 하였다.

### 2.3 MG에 대한 신뢰도 분석

MG에 대한 신뢰도 분석은 일반적인 배전계통의 방법과 유사하지만 계통에 다양한 발전설비가 접속하여 운전된다는 점에서 다소의 차이가 있다. 즉 고전적인 배전계통의 신뢰도 평가는 선로 및 기기의 고장에 따라서 공급받지 못하는 부하 또는 주기/빈도 등에 대한 평가를 수행하는데 비하여 MG의 경우 자체적으로 공급능력을 지닌 발전기들이 존재하기 때문에 이러한 발전설비의 고장확률과 이로 인하여 공급장장이 발생할 수 있는 가능성을 검토해야 한다. 또한 발전출력이 제어가능 또는 예측가능 하지 않은 신/재생에너지원에 대한 출력의 불확실성 및 상관관계도 고려해야 하기 때문에 과거의 방법보다 복잡한 방법이 사용된다.

#### 2.3.1 신뢰도 지수(Reliability Index)

계통의 신뢰도지수는 전통적으로 Lose Of Load Probability(LOLP) 및 Lose Of Load Expectation (LOLE)등의 지수를 사용하고 있으며 배전계통의 경우 System Average Interruption Duration Index (SAIDI) 및 System Average Interruption Frequency Index(SAIFI)등의 지수도 사용하고 있다. MG는 발전설비가 포함된 배전계통이기 때문에 기존의 SAIDI나 SAIFI등의 지수를 사용하지 않고 발전설비 및 계통의 신뢰도를 함께 고려할 수 있는 LOLP를 지수를 적용하여 MG에 대한 신뢰도를 평가하고 그 결과를 ESS의 최소용량 및 투입시점을 결정하는데 기준으로 사용하였다. LOLP에 대한 산식은 다음과 같다.

$$LOLP = \sum_{n=1}^N P_{ni} (X_n > R_n) \quad (1)$$

- 여기에서  $P_n$  : n일의 고장용량이 예비력보다 클 확률
- $N$  : 일수
- $X_n$  : n일의 고장용량
- $R_n$  : n일의 공급예비력

#### 2.3.2 확률론적 변수의 모델링

MG에 대한 확률론적인 신뢰도 평가를 위하여 다음

과 같은 확률적 모델을 적용하여 Monte-Carlo simulation을 수행한다.

##### ① 발전기 출력 및 상관관계

풍력발전의 출력에 대한 확률적 분포는 설치위치의 풍속정보[m/sec] 및 발전기의 출력곡선에 따라서 결정되며 일반적으로 Weibull distribution을 사용하고 있다. 그리고 풍력자원의 특성 상 인근지역에 다른 발전단지가 운영되는 경우 각 발전단지의 출력 간에는 상관관계가 존재하게 된다. 이러한 상관관계는 동기화된 측정 장비를 이용하여 측정된 발전단지 간 풍속정보를 이용하여 산정할 수 있다. 태양광발전의 출력에 대한 확률적 분포는 설치위치에 대한 일조량 [ $W/m^2$ ] 및 출력곡선에 따라서 결정되는데 본 논문에서는 Triangular distribution를 사용하여 개략적인 출력 특성을 모델링하였다. 이 밖에 마이크로그리드에 설치되는 발전설비들의 경우 운영자에 의한 제어가능한 특성을 가지고 있기 때문에 그 출력에 대한 확률적인 입력모델을 적용하지 않는다.

##### ② 설비고장확률

마이크로그리드를 구성하는 설비들에 대한 고장확률을 모델링하기 위해서 사고확률에 영향을 주는 요인을 Event와 Aging으로 구분하였는데 두 가지 고장요인은 모두 과거의 사고실적 데이터 및 설비노화에 대한 정보가 필요하다. 본 논문에서 발전설비 및 변압기에 대한 Event 고장확률은 yes-no distribution을 사용하여 모델링 하였으며, 설비의 사용기간에 따라서 고장확률이 증가되는 추세를 반영하였는데 이는 변압기에만 국한하였다. 그 이유는 발전설비의 경우 지속적인 유지보수가 가능하기 때문에 지속적으로 설비신뢰도가 향상되는 반면 변압기의 경우 유지보수가 어렵기 때문에 사용연수가 길어질수록 고장확률이 증가되는 것으로 가정한 것이다[7].

아래의 그림 2는 Event에 대한 고장확률분포 및 Aging에 대한 고장확률특성을 나타내고 있으며, 두 가지 확률분포에 대한 Convolution을 이용한 설비 사용시간에 따른 고장확률의 변화를 보여주고 있다.

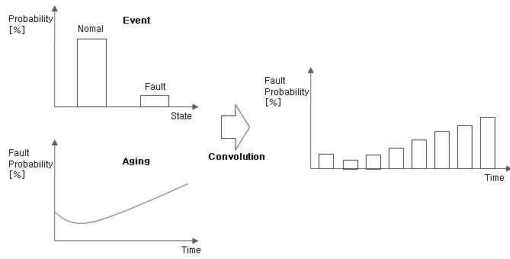


그림 2. 사고 및 설비노화에 따른 고장확률  
Fig. 2. Convolution of event & aging probability

2.3.3 신뢰도 산정을 위한 확률론적 방법론

기존의 발전설비나 배전계통에 대한 신뢰도 지수 산정 방법은 잘 알려져 있기 때문에 본 논문에서는 이와 같은 방법을 다소 보완함으로써 발전설비 및 변전설비에 대한 확률적인 입력변수를 이용하여 MG의 공급 신뢰도를 산정할 수 있는 방법을 제시하였다.

제시된 방법에서 발전설비 고장확률( $\widehat{P}_G$ )과 변전설비 고장확률( $\widehat{P}_{Tr}$ )을 'AND'조건으로 Convolution하여 종합 고장확률을 해당 발전설비 용량( $G_{cap}$ )에 곱함으로써 각 발전기별 고장용량의 분포( $\widehat{UC}_G$ )를 산정할 수 있는데 여기에서 발전설비와 해당 변전설비의 고장확률은 정상=1, 고장=0이기 때문에 어느 하나의 설비만 고장이 나더라도 해당발전설비의 용량이 공급되지 않는 것을 의미한다. 또한 변전설비의 고장확률( $\widehat{P}_{Tr}$ )은 2.3.2의 ②항에서 설명한 바와 같이 Event와 Aging의 고장요인이 조합된 확률분포로서 설비의 노후화에 따라서 그 고장확률이 증가되는 특징을 가진다.

$$\widehat{UC}_G = G_{cap} \times (\widehat{P}_G \otimes \widehat{P}_{Tr}) \quad (2)$$

또한 풍력발전 또는 태양광발전과 같이 발전출력에 대한 간헐성과 불확실성을 가지고 있는 경우 발전설비용량에 출력에 대한 확률분포( $\widehat{P}_W$ )를 곱해서 유효 발전출력을 산정하고 이를 고장확률과 Convolution하였다.

$$\widehat{UC}_G = (G_{cap} \times \widehat{P}_W) \otimes (\widehat{P}_G \otimes \widehat{P}_{Tr}) \quad (3)$$

에너지저장장치의 설비용량( $ESS_{cap}$ )과 고장확률( $\widehat{P}_s$ )의 곱으로써 고장용량의 확률분포( $\widehat{UC}_{ESS}$ )를 산정하였다.

$$\widehat{UC}_{ESS} = ESS_{cap} \times \widehat{P}_s \quad (4)$$

MG와 Main grid간의 연계변압기의 용량( $ITR_{cap}$ )과 그 변압기의 고장확률( $\widehat{P}_{IT}$ )의 곱으로 연계변압기 고장용량의 확률분포( $\widehat{UC}_{ITR}$ )를 산정할 수 있다.

$$\widehat{UC}_{ITR} = ITR_{cap} \times \widehat{P}_{IT} \quad (5)$$

위에서 산정된 각 설비 고장용량의 확률분포를 이용해서 식 (1)에서의 n일의 고장용량( $X_n$ )을 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$X_n = \sum_{i=1}^{NG} \widehat{UC}_G \oplus \sum_{j=1}^{NESS} \widehat{UC}_{ESS} \oplus \sum_{k=1}^{NITR} \widehat{UC}_{ITR} \quad (6)$$

또한 식 (1)에서의 n일의 공급예비력( $R_n$ )은 공급설비의 총 용량( $ICAP_{total}$ )과 최대수요( $D_{peak}$ )의 차이로써 산정할 수 있다.

$$R_n = ICAP_{total} - D_{peak} \quad (7)$$

2.4 ESS 최소설비용량 및 투자시점의 결정

본 논문에서는 MG의 적정 공급신뢰도를 유지할 수 있는 ESS의 최소설비용량 및 투자시점을 산정하는 것을 목적으로 하고 있다. 단 수요의 증가나 발전설비 신/증설에 대하여 고려하지 않고 ESS의 설치용량 및 시점만을 결정할 수 있는 변수로 가정하였다. 본 논문에서는 MG의 설계초기에 필요로 되는 설비용량을 즉, 신/재생에너지 발전원 출력의 가변성 그리고 발전설비, 변전설비 및 연계선로의 고장확률 등을 고려하여 적정 공급신뢰도 수준을 만족시킬 수 있는 ESS의 설비용량을 산정하고, 시간의 경과에 따라서 증가되는 설비의 고장확률을 고려한 추가 설비용량 및 설치시

점을 결정하는 방법론을 제시하였는데 이에 대한 흐름은 다음의 그림과 같다.

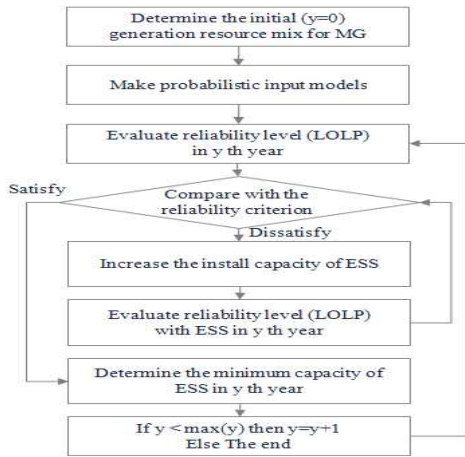


그림 3. ESS투입시점 결정 순서도  
Fig. 3. Flow chart to determine the Min cap of ESS

### 3. 사례연구

#### 3.1 사례연구를 위한 MG

본 논문에서 제시한 MG설계를 위한 ESS의 최소설비용량 산정 및 설비투자시점 결정방법론에 대한 타당성을 검토하기 위해서 다음과 같은 가상의 MG에 대한 사례연구를 수행하였으며 적정신뢰도 수준은 1[day/year]로 정의하였다.

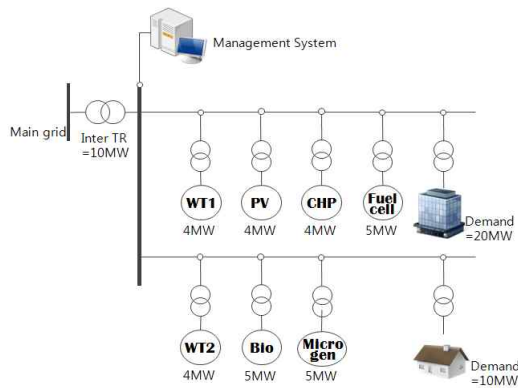


그림 4. 사례연구를 위한 MG의 구성도  
Fig. 4. The MG for case study

표 1. 전력공급설비구성  
Table 1. Energy mix of MG

설비명	종 류	설비용량[MW]	비 고
WT#1	풍력발전	4	출력제어불가
WT#2	풍력발전	4	출력제어불가
PV	태양광발전	4	출력제어불가
CHP	열병합발전	4	출력제어가능
Fuel Cell	연료전지	5	출력제어가능
Biomass	바이오가스	5	출력제어가능
MircoGen	마이크로터빈	5	출력제어가능
Inter Tr	변압기	10	출력제어가능
계		41	

#### 3.2 확률변수 모델링

사례연구를 위해서 다음의 입력변수들을 확률분포로써 고려하였는데 모델링을 위해서 Crystal Ball 프로그램을 사용하였다.

- 풍력(WT) 및 태양광발전(PV)의 발전출력
- 발전기 및 변압기의 고장확률
- 변압기의 고장확률 증가 Factor

##### ① Wind Turbine Generation

풍속자원과 풍력발전기 출력특성을 반영하여 일반적으로 사용되고 있는 Weibull distribution을 사용하였으며, Location=0[%], Scale=30[%] 그리고 Shape=2를 이용하여 확률분포를 모델링하였다.

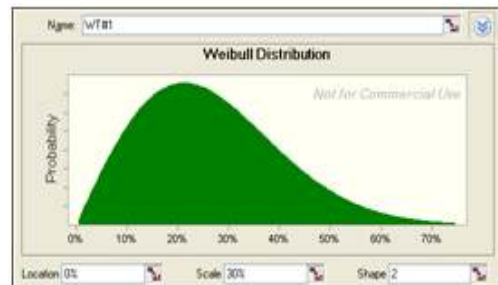


그림 5. 풍력발전기 출력의 확률분포  
Fig. 5. Wind generation distribution

WT#1과 WT#2의 출력에 대하여 동일한 확률분포를 적용하였으며, 두 개의 풍력발전단지에 대한 상관관계 계수를 0.5로 적용하였다.

② PV Generation

태양광발전에 대한 출력특성은 Triangular distribution으로 간략하게 모델링 하였다.

(Minimum=0[%], Likeliest=30[%], Maximum=60[%])

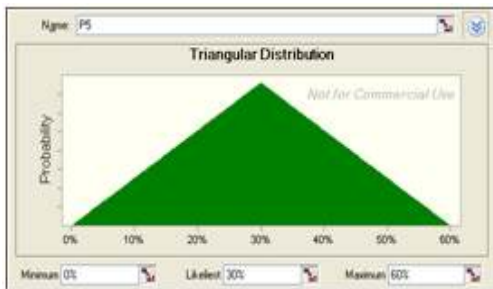


그림 6. 태양광발전기 출력의 확률분포  
Fig. 6. PV generation distribution

③ 발전기 고장정지확률

발전기의 고장정지확률은 Yes-No distribution으로 모델링 하였으며, 모든 발전설비에 동일하게 0.001을 적용하였다. (Yes=0.999, No=0.001)

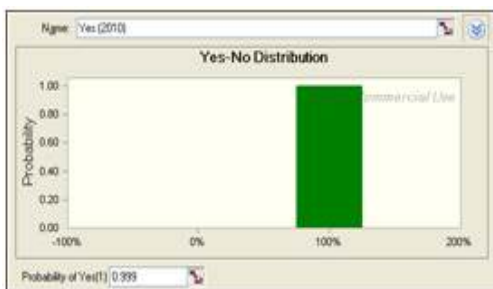


그림 7. 발전기의 고장확률 분포(Yes-No)  
Fig. 7. Yse-No distribution for generation fault

④ 변압기 고장정지확률

변압기의 고장정지확률도 발전기와 동일하게 Yes-No distribution으로 모델링하였으며, 모든 변압기에 동일하게 0.001을 적용하였다. (Yes=0.999, No=0.001) 그리고 변압기의 경우 Aging에 의한 고장확률의 증가요인

을 반영하기 위하여 초기운영 연도부터 다음과 같은 Factor를 No확률에 곱하였다.

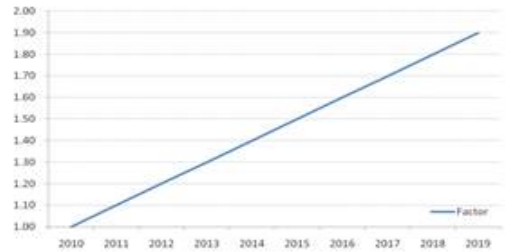


그림 8. 변압기의 노후화 factor  
Fig. 8. Aging factor of transformers

3.3 모의결과(The results of simulation)

Crystal ball의 Monte-calro시뮬레이션(랜덤변수 100,000회 발생)을 이용하여 Fig 3의 순서와 같이 모의한 결과 아래의 그림과 같이 2010년도의 공급예비력과 고장용량의 차이의 확률분포를 산정하였고 이 값이 '0'보다 작은 확률을 산정하여 LOLP로 환산하였다.

아래의 그림 9에서 그 값이 '0'보다 작은 확률은 0.83[%]로 LOLP로 환산한 경우 3.22일/year이다.

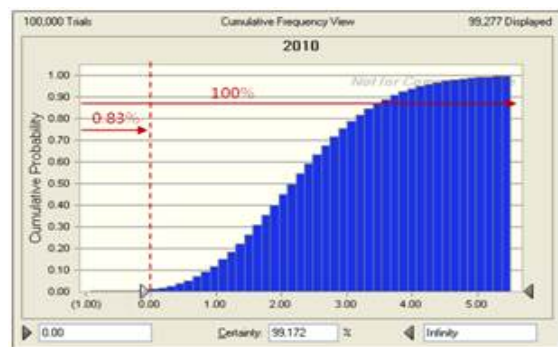


그림 9. 공급예비력-고장용량 차이의 누적확률 (2010, 0[MW])  
Fig. 9. Cumulative frequency of the result (2010, 0[MW])

앞에서 본 시스템의 적정 신뢰도 수준은 LOLP로 1.0[day/year] 수준으로 가정하였기 때문에 현재 신뢰도 수준을 적정 수준으로 높이기 위하여 신규로 설치



되어야 하는 ESS의 용량을 산정하였다. 반복적으로 ESS의 설비용량을 1[MW]씩 증가시킨 결과 2[MW]의 ESS가 설치된 경우 2010년의 신뢰도수준이 적정 수준보다 높게(0.92[day/year]) 산정된 것을 확인할 수 있었다.



그림 10. 공급예비력-고장용량 차이의 누적확률 (2010, 2[MW])  
Fig. 10. Cumulative frequency of the result (2010, 2[MW])

그러나 2[MW]의 ESS를 설치한 경우에도 설치 이후 4년이 경과된 2014년도에는 LOLP가 1.274로써 기준치보다 높아지기 때문에 새로운 ESS 1[MW]를 추가 설치함으로써 0.752수준으로 높일 수 있었으며 동일한 원인에서 2015년도에도 1[MW]의 ESS를 추가함으로써 2019년까지 적정신뢰도 수준을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다.

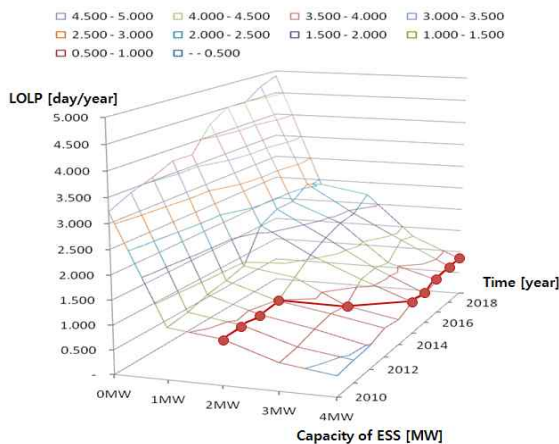


그림 11. 연도별 ESS의 용량에 따른 LOLP  
Fig. 11. Capacity of ESS and LOLP

위의 그림 11은 2010년부터 2019년까지 ESS의 설치 용량과 MG의 공급신뢰도 수준의 관계를 3차원으로 표현한 것으로 ESS의 용량을 증가시켜 y축의 LOLP 수준이 1.0[day/year]를 초과하지 않도록 하는 경로를 결정하고 이에 따른 ESS의 설치 용량 및 시기를 결정하였다. 그 결과로써 본 MG의 설계 시 ESS를 초기에 2[MW], 2014년도 1[MW] 그리고 2015년도 1[MW]를 설치함으로써 시스템의 신뢰도 수준을 적정하게 유지할 수 있다는 결과를 도출하였다. 단 이 결과는 MG의 계획설계 시 ESS의 최소필요 용량을 산정하는 것으로 운영전략의 수립방향에 따라서 다른 결과가 도출될 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 최근 정부에서 녹색성장사업으로 추진하고 있는 Smart Grid 사업의 일환인 Micro-Grid 설계기술로써 Energy Storage System의 적정설비용량과 그 투입시점을 합리적으로 결정함으로써 계통의 신뢰도와 경제적 효율성을 극대화 시킬 수 있는 방법을 제시하였는데 이 방법은 신/재생 발전설비의 접속 및 설비고장확률에 따른 공급신뢰도 저하를 평가하고 이에 대한 대책으로써 ESS의 적정한 설비용량과 그 투입시점을 결정할 수 있는 것을 특징으로 한다.

본 설계기술의 개발은 Smart Grid에 다양한 종류의 발전설비가 접속되어 신뢰성 있게 전력을 공급할 수 있는 기반을 마련함으로써 친환경적 계통구성에 기여할 것으로 판단되며 향후 수요의 변화 등과 같은 다양한 변수에 대한 추가적인 고려를 통해서 더욱 유용한 설계방법으로 발전될 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발사업(과제번호:R-2007-2-185)의 지원으로 수행된 것으로, 관계부처의 지원에 대해 깊이 감사드립니다.

## References

- [1] Joannis Hadjipaschalis, "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2009.
- [2] Rahul Walawalkar, "Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation in New York", Energy Policy vol 35, April, 2007.
- [3] S. Jalal Kazempour, "Electric energy storage systems in a market-based economy: Comparison of emerging and traditional technologies", Renewable energy, June, 10, 2009.
- [4] Fouad Abou Chacra, "Impact of Energy Storage Costs on Economical Performance in a Distribution Substation", IEEE trans on Power system, vol 20, No 2, May, 2005.
- [5] 이재걸 외, "마이크로그리드의 설계를 위한 에너지저장 장치의 최소용량산정 기법에 관한 연구", KIIE논문집, 제 23권 제10호 pp52~58, 2009.10.
- [6] Benjamin Kroposki, "Making Microgrids Work", IEEE power & energy magazine 2008 may/june.
- [7] Wijam Wangdee, "Applying Probabilistic Method in Determining the Number of Spare Transformers and their Timing Requirements", IEEE.



**신정훈**(申政勳)

1969년 1월 6일생. 1993년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1995년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년 한국전력공사 입사. 2002년~현재 한국전력공사 전력연구원 선임

연구원.

E-mail : kkambo@kepco.co.kr



**남수철**(南守喆)

1978년 7월 18일생. 2001년 고려대학교 전기전자공학부 졸업. 2006년 고려대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006년 한국전력공사 입사 2006년~현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원.

E-mail : scnam@kepco.co.kr



**백승묵**(白承默)

1979년 6월 6일생. 2006년 연세대학교 기계전자공학부 졸업. 2007년 연세대학교 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 연세대학교 전기전자공학과 수료(박사). 한국전력공사 입사 2009년~현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원.

E-mail : smbak@kepco.co.kr

## ◇ 저자소개 ◇



**이재걸**(李宰杰)

1976년 8월 19일생. 2002년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2004년 인천대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년 한국전력공사 입사. 2007년~현재 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원.

E-mail : jaelry@kepco.co.kr