

# 제주도 계통에서의 풍력발전기 및 ESS를 고려한 신뢰도 평가

## Reliability Evaluation with Wind Turbine Generators and an Energy Storage System for the Jeju Island Power System

오 웅 진\* · 이 연 찬\* · 임 진 택\* · 최 재 석\* · 윤 용 범\*\* · 장 병 훈\*\* · 조 성 민\*\*

(Ungjin Oh · Yeonchan Lee · Jintaek Lim · Jaeseok Choi · Yongbeum Yoon · Byunghoon Chang · Sungmin Cho)

**Abstract** - This paper proposes probabilistic reliability evaluation model of power system considering Wind Turbine Generator(WTG) integrated with Energy Storage System(ESS). Monte carlo sample state duration simulation method is used for the evaluation. Because the power output from WTG units usually fluctuates randomly, the power cannot be counted on to continuously satisfy the system load. Although the power output at any time is not controllable, the power output can be utilized by ESS. The ESS may make to smooth the fluctuation of the WTG power output. The detail process of power system reliability evaluation considering ESS cooperated WTG is presented using case study of Jeju island power system in the paper.

**Key Words** : Wind turbine generator(WTG), Energy storage system(ESS), Power system reliability evaluation

### 1. 서 론

최근 발생한 9.15순환정전으로 인하여 그와 관련된 정부부처 및 전문 관련 학회 등에서 이를 분석하고 그에 따른 정전대비책을 강구하는 등의 신뢰도강화방안을 마련하고 있다. 또한 이를 통하여 더 큰 정전으로부터 파생될 수 있는 사회적 파국을 방지할 수 있다는 의미에서 참으로 고무적이라고 하겠다. 또한, 현대 사회에서 전력은 국가경제발전과 국민의 삶의 질을 향상시키는데 반드시 요구되는 필수요소다. 어떤 이유에서든 전력공급이 부족하게 되면 경제발전에 심각한 지장을 초래하게 될 뿐만 아니라 삶의 질을 현저하게 악화시키게 되며 막대한 사회적 비용을 유발하게 된다. 따라서 전력은 수요변화에 즉각적이고 차질 없이 공급되어야 하는 이유이다. 이를 방지하기 위하여 근래에 에너지 저장장치(ESS: Energy Storage System)의 계통투입으로 공급신뢰도영향 분석기술이 그 어느 때보다 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 출력변동성이 큰 풍력발전기가 증가함에 따라 그 변동성을 감소하기 위해서 ESS의 계통투입이 요구되고 있다. 또한 이의 공급신뢰도측면에서의 효과에 대한 기술개발을 요청받고 있다. 특히, ESS 연계를 통한 수요 충족의 불안함을 해소하기 위한 신뢰도 분석모델은 전 세계적으로 가장 관심 있는 연구분야임에도 불구하고 신뢰도 평가 모델은 매우 희소성을 지닌다.

따라서, 본 연구는 풍력발전의 급속한 변동으로 인한 수요충족의 불안함을 해소하고 풍력발전단지에 ESS를 설치함으로써 기존의 전력계통에 ESS를 연계할 경우에 전력계통의 신뢰도 분석 프로그램을 구축하고자 한다. 이를 통하여 신재생에너지원과 결합된 ESS의 효용성을 분석하고 이를 검증함으로써 실 계통 병입 및 운용시스템에 적용가능한 수준의 확률론적인 신뢰도 정보시스템을 개발함에 그 궁극적인 연구목표를 두었다. 이번에는 기초연구로서 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 풍력발전기와 ESS를 고려한 신뢰도 평가 모델을 제안하고 제주도계통을 대상으로 한 사례연구를 통하여 제안하는 평가모델의 유용성을 살펴보았다[1].

### 2. ESS 운전 모형

#### 2.1 풍력발전단지에 설치된 ESS의 충/방전 운전모형

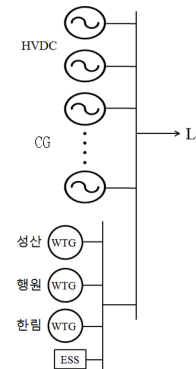


그림 1 본 논문에서 설정한 제주도의 기존발전기들과 풍력발전단지 및 ESS 연계 모형

Fig. 1 CG's and WTG in Jeju Linked with ESS

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Gyeongsang National University, Korea

E-mail : jschoi@gnu.ac.kr

\* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Gyeongsang National University, Korea

\*\* KEPCO, Korea

Received : September 19, 2014; Accepted : December 03, 2014

본 논문에서는 그림 1과 같이 제주도에서의 기존발전기(CG :Conventional Generator)들과 제주도의 행원, 성산, 한림에서 풍력발전단지의 등가풍력발전기(WTG: Wind Turbine Generator) 및 ESS 연계모형에 대하여 공급적정도 측면에서의 신뢰도평가를 실시하는 것으로 하였다. 이들의 운전조건으로 임의의 시간대에서 부하대비 등가풍력발전기(이하 풍력발전기라고 한다.)의 최대 허용출력 비율을 X%라 하고 다음처럼 시나리오를 정하였다. 이는 부하가 시간대별로 변화하여도 그 허용비율은 변하지 않는 것을 의미한다. 여기서  $SG_{wi}$ 는 풍력발전기의 부하대비 최대허용출력[MW],  $SG_{ci}$ 는 기존발전기의 출력의무량[MW],  $TG_{wi}$ 는 풍력발전기의 발전 용량[MW]이며,  $TG_{ci}$ 는 기존발전기의 발전 용량[MW]이다[5, 6].

- ①  $SG_{wi} = TG_{wi} - X\% * L_i : X\% * L_i$   
(부하가 변하면 풍력발전기의 최대허용출력도 변함.) 이때,  $SG_{wi}$ 가 양수(+)이면,  $TG_{wi}$ 이  $X\% * L_i$ 를 초과하고 동시에 ESS가 방전모드에 있지 않으면 이 초과분을 충전할 수 있다.
- ②  $SG_{ci} = TG_{ci} - (1 - X\%) * L_i : (1 - X\%) * L_i$   
 $SG_{ci}$ 가 음수(-)이면, 기존발전기의 출력이 출력의무량보다 작으면 ESS로부터 방전하여 전력의 부족분을 공급받는 것으로 한다.

따라서,  $SG_{wi}$ 가 양수(+)일 때 WTG는  $X\% * L_i$ 를 절대로 초과하여 부하에 공급을 할 수 없는 것으로 가정하며 특히 이때,  $SG_{ci}$ 가 음수(-)이면 ESS가 방전을 해야 하므로 WTG의 초과출력분이 존재하여도 그 초과분을 ESS에 충전할 수 없는 것으로 한다[6].

### 2.2 ESS 에너지상태방정식(Energy State Equation)

전술한 ESS 운전조건에서 ESS의 에너지상태방정식을 정식화 하면 식 (1)과 같다. 더불어 ESS는 식 (2)와 같은 최대 및 최소 에너지 제약을 만족해야하는 것으로 설정하였다.

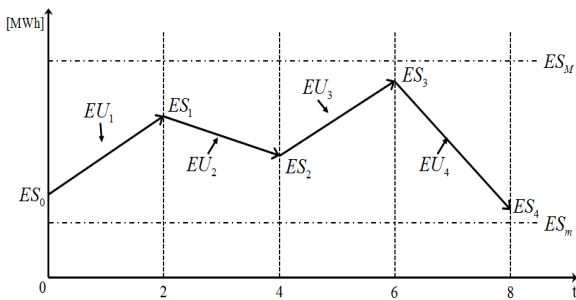


그림 2 ESS의 충/방전시 에너지 상태 그래프  
Fig. 2 ESS Charge/Discharge State(SOC) Transition Feature

$$ES_i = ES_{i-1} + EU_i \quad (1)$$

$$ES_m \leq ES_i \leq ES_M \quad (2)$$

- 단,
- $ES_i$  : #i 시간대 ESS에 저장된 에너지 [MWh]
- $EU_i$  : #i 시간대 ESS의 에너지 변화량 (ESS 에너지 제어량) [MWh]
- $ES_M$  : ESS의 최대 용량 [MWh]
- $ES_m$  : ESS의 최소 용량 [MWh]

그림 2는 ESS의 충/방전 상태전이를 예를 들어 도식화 한 것이다. 한편, 충전시 ESS의 에너지 상태변화는 일반적으로 그림 3의 ③과 같은 충전특성을 가지며, 방전시는 ②와 같은 방전특성에 따른다고 알려져 있으나 본 논문에서는 편이상 ESS 충/방전 모두 ①과 같은 선형적인 특성에 따른다고 하였다.

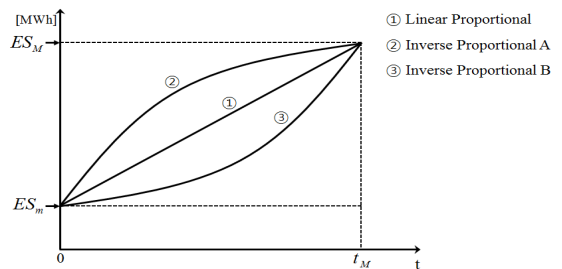


그림 3 ESS의 충/방전 특성곡선  
Fig. 3 ESS Charge/Discharge Characteristics Curves

### 2.3 ESS 제어량(EU) 산정

전술한 ESS 운전조건을 사용하면 에너지제어량은 다음 식 (3)과 같이 계산된다.

$$EU_i = \begin{cases} SG_{wi} \times t_i & SG_{wi} \geq 0 \text{ and } SG_{ci} \geq 0 & C \\ SG_{ci} \times t_i & SG_{wi} \geq 0 \text{ and } SG_{ci} < 0 & D \\ 0 & SG_{wi} < 0 \text{ and } (SG_{wi} + SG_{ci}) \geq 0 & - \\ (SG_{wi} + SG_{ci}) \times t_i & SG_{wi} < 0 \text{ and } (SG_{wi} + SG_{ci}) < 0 & D \end{cases} \quad (3)$$

여기서 C는 충전모드(Charging mode)를 나타내며 D는 방전 모드(Discharging mode)를 의미한다. 한편, 실제  $EU_i$ 는 다음의 제약조건에 따라 조정되어야한다.

- 1) 충방전에너지 제어량 최대치 제약

$$-EU_{max} \leq EU_i \leq EU_{max} \quad (4)$$

$$EU_{max} = [(ES_M - ES_m) / TM_{ESS}] \times \Delta T$$

- 단,
- $TM_{ESS}$  : ESS의 전 충전(방전) 소요시간

2) ESS 최대용량제약에 따른 총방전 최대허용에너지제약

$$ES_m \leq ES_i + EU_i : ES_m - ES_i \leq EU_i \quad (5.1)$$

$$ES_i + EU_i \leq ES_M : EU_i \leq ES_M - ES_i \quad (5.2)$$

### 3. 신뢰도 평가

본 논문에서는 풍력발전기와 일반발전기의 불확실성을 시뮬레이션에 반영하기 위하여 확률론적으로 미래의 값을 예측하는 수치적 접근방법인 Monte Carlo 모의방법을 이용하였다. 또한 풍속의 불확실성을 고려하기 위하여 Monte Carlo 모의 방법인 난수를 적용함으로써, 불확실성을 고려한 풍력 발전기 출력의 샘플 상태를 만들고 이를 각 상태에 대하여 공급지장시간기대치(LOLE: Loss of load Expectation)와 공급지장에너지기대치(EENS; Expected Energy Not Served)를 구한 후에 이를 합산하여 평균함으로써 신뢰도지수를 산정하였으며, EENS로부터 정의되는 EIR (Energy Index of Reliability)은 그 값이 클수록 신뢰도가 높음을 의미한다. 이를 정식화하면 식(6), 식 (7) 및 식 (8)과 같다.

$$LOLE_i = \frac{1}{NSS} \sum_{i \in \Omega_D} t_i \quad (6)$$

$$EENS_i = \frac{1}{NSS} \sum_{i \in \Omega_D} (TG_{ei} + EU_i) \quad (7)$$

$$EIR = 1 - \frac{EENS}{DE} \quad (8)$$

단,

$\Omega_D$  : 방전모드의 집합

NSS : 총 샘플수(상태수)

$EU_i$  : 방전에너지량(Discharging Control Energy) [MWh]

$TG_{ei}$  : 부하의 공급부족을 없애기 위한 꼭 필요한 방전에너지(절대치로 표시함) [MWh]

DE : 총 부하에너지(Demand Energy) [pu]

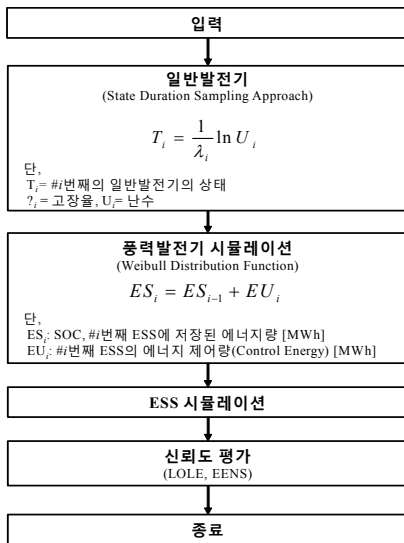


그림 4 신뢰도 평가 순서도

Fig. 4 Flow Chart for Reliability Evaluation

또한 이러한 신뢰도 평가를 하기 위한 순서도를 나타내면 다음 그림 4와 같다.

## 4. 사례연구

### 4.1 제주도계통

본 논문에서는 그림 5, 그림 6와 같은 제주도 계통에서 제한된 풍력발전단지과 에너지저장장치(ESS)를 포함하는 연계 모델을 대상으로 하였다[4].

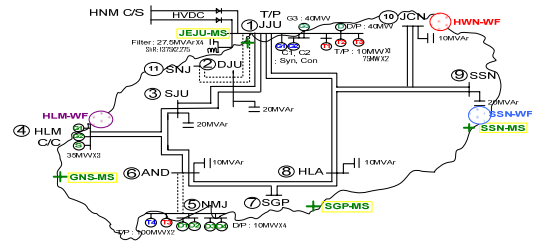


그림 5 제주도의 전력계통도

Fig. 5 Power System of Jeju Island

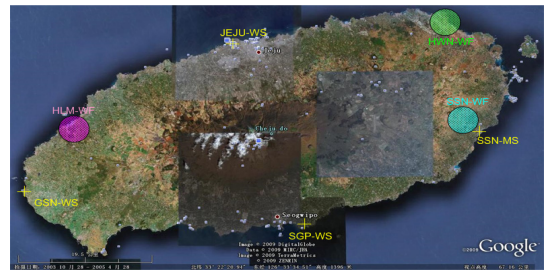


그림 6 제주도에에서의 풍력발전기의 위치

Fig. 6 A map of Jeju Island

표 1 제주도 전력계통의 발전기 특성 데이터

Table 1 The Generators Data of Jeju Island Power System

	Name	Type	Capacity [MW]	Num.	$\alpha$ [Gcal/MWh]	$\beta$ [Gcal/MWh]	$\gamma$ [Gcal/hr]	Fuel cost [\$/Gcal]	FOR
1	HWN	WTG	50	1	-	-	-	-	-
2	SSN	WTG	30	1	-	-	-	-	-
3	HLM	WTG	20	1	-	-	-	-	-
4	HVDC	DC	75/150*	1	0.004	1.512	45.207	43.300	0.010/0.028*
5	NMJ3	T/P	100	2	0.004	1.512	45.207	43.300	0.012
6	JJU1	T/P	55	3	0.062	2.100	5.971	43.599	0.015
7	JJU2	T/P	75	2	0.003	1.832	30.231	43.599	0.012
8	HLM1	G/T	35	2	0.004	2.401	20.320	77.909	0.013
9	HLM1	S/T	35	1	0.004	2.401	20.320	77.909	0.013
10	JJU3	D/P	40	2	0.025	0.364	28.484	43.599	0.018
11	NMJ1	D/P	10	4	0.006	1.999	1.360	43.300	0.018
	Total		990	21	-	-			

4.1.2 제주도 계통의 ESS용량 변화에 따른 신뢰도 평가

본 논문에서는 제주도 계통의 ESS용량 변화에 따른 신뢰도를 산정해보았다. 다음 표 1은 CG와 WTG의 발전기 특성 데이터를 나타내고 있으며, 표 2는 제주도의 풍력발전단지(성산, 한림, 행원)의 특성을 나타내고 있다. 또한 표 3은 풍력발전기의 특성곡선을 나타내는 데이터이다.

표 2 풍력발전단지(행원, 성산, 한림)의 특성

Table 2 Data of HWN, SSN and HLM wind farms

Wind Data			
Wind farm	HWN-WF	SSN-WF	HLM-WF
Peak speed	45 m/s	40 m/s	35 m/s
Mean wind speed	8.5 m/s	7.6 m/s	6.4 m/s
Standard deviation	7 m/s	6 m/s	5 m/s
WTG Data			
Cut-in speed( $V_{ci}$ )	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Rated speed( $V_R$ )	16 m/s	15 m/s	14 m/s
Cut-out speed( $V_{co}$ )	25 m/s	25 m/s	25 m/s

표 3 풍력발전기(행원, 성산, 한림)의 특성

Table 3 Data of HWN, SSN and HLM wind farms

	HWN-WF	SSN-WF	HLM-WF
A	0.1203	0.1111	0.0928
$B[m/sec]^{-1}$	-0.06	-0.063	-0.0649
$C[m/sec]^{-2}$	0.0072	0.0081	0.0093

그림 7은 2012년 제주도의 전력계통의 부하 변동 곡선(pattern)을 나타내고 있다.

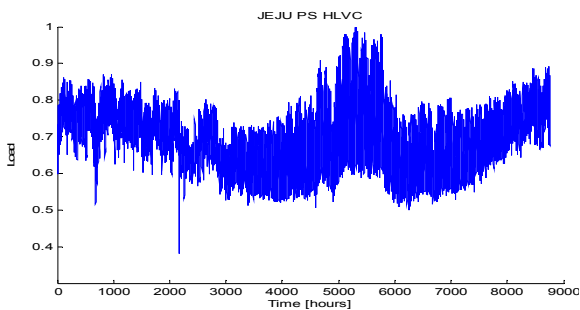


그림 7 2012년 제주도의 전력계통의 부하 변동 곡선

Fig. 7 The load variation curve (pattern) of Jeju Island power system in 2012

다음으로 제주도 계통에서의 ESS용량 변화에 따른 신뢰도 평가를 위한 ESS 사양은 다음 표 4와 같다[2, 3].

그림 8은 제주도 계통의 각 상태별 부하 및 기준 발전기의 확률론적인 출력을 참고로 보인 것이다.

표 4 ESS 사양

Table 4 ESS Specification

최대용량 ( $ES_M$ ) [MWh]	최소용량 ( $ES_m$ ) [MWh]	전 충/방전 소요시간 [hours]	ESS의 최소용량 [MW]
50	10	2	15

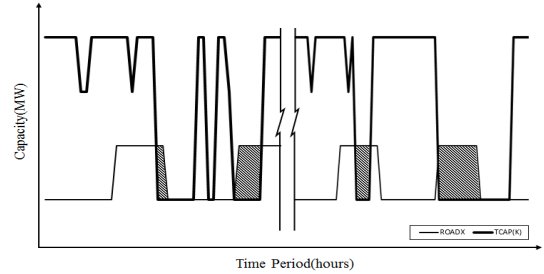


그림 8 제주도계통의 각 상태별 부하 및 기준발전기의 확률론적인 출력( $TG_{CG}$ )의 한 예

Fig. 8 An example of load for each state and CG's probabilistic output( $TG_{CG}$ ) in Jeju system

그림 9 및 그림 10은 각각 ESS의 에너지 상태 및 충/방전 에너지 제어량을 참고로 보인 것이다.

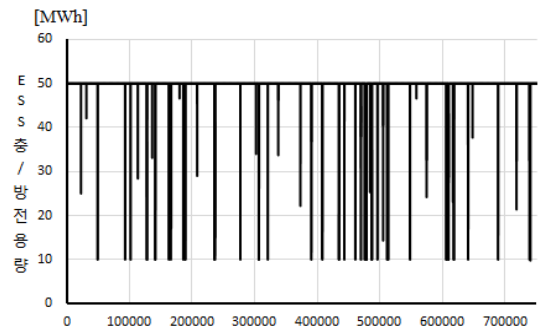


그림 9 ESS의 에너지 상태(ES) [MWh]

Fig. 9 ESS energy state(ES) [MWh]

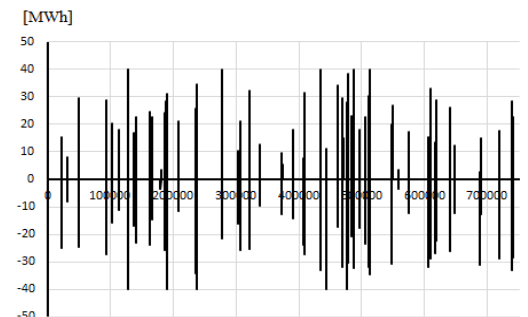


그림 10 ESS의 충/방전에너지 제어량(EU) [MWh]

Fig. 10 ESS charge/discharge control (EU) [MWh]

다음으로 ESS의 용량변동에 따라서 LOLE와 EENS의 변화를 살펴보면 그림 11과 같다. ESS의 용량이 증가함에 따라 LOLE의 지수가 꾸준히 감소하였으며 EENS 또한 LOLE의 값과 거의 동일하게 감소함을 알 수 있었다. 그리고 ESS의 용량이 60~70MW에서 부터는 포화가 되고 있음을 알 수 있다. 또한 LOLE가 감소하면 EENS의 값도 같이 감소하는 것을 알 수 있다.

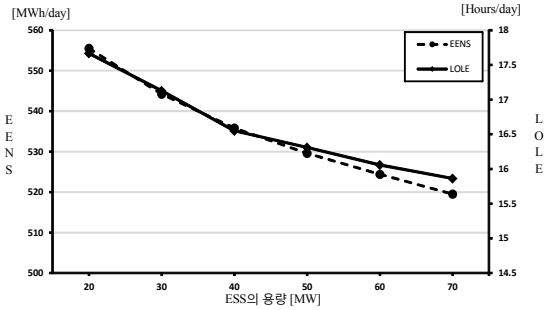


그림 11 ESS용량 증가에 따른 신뢰도 지수의 변화  
 Fig. 11 Variation of Reliability Indices with Increasing of ESS Capacities

4.1.2 제주도 계통의 풍력단지별 용량 변화에 따른 신뢰도 평가

다음으로 본 논문에서는 풍력단지별 용량변동에 따라서 LOLE, EENS 및 EIR의 신뢰도 지수의 변화를 살펴보았다. 따라서 풍력단지별 각 Case 용량은 다음 표 5와 같다.

표 5 풍력단지별 각 Case 용량  
 Table 5 Capacities for Each Case with Regards to Each Wind Farm

	HWN [MW]	SSN [MW]	HLM [MW]
Case 1	50	30	20
Case 2	120	100	90

ESS 사양은 위의 표 4와 동일하게 설정하였다. 따라서 이러한 제주도 계통의 풍력단지별 용량 변화에 따른 LOLE, EENS의 변화를 나타내면 다음 표 6과 같다.

그림 12, 13은 제주도 계통의 풍력단지별 각 Case 용량과 ESS의 설치여부에 따른 LOLE와 EENS의 변화를 나타낸 것이다.

그림 12, 13에서 볼 수 있듯이 Case 1과 Case 2를 비교하면, 풍력단지의 용량이 증가함에 따라 신뢰도가 증가한다. 또한 ESS가 없을 경우에는 2배정도 증가하지만, 반면 ESS를 설치하였을 경우에는 2.6배정도 신뢰도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 ESS가 설치됨에 따라 신뢰도가 증가함을 의미한다.

표 6 에너지 저장장치 설치여부에 따른 계통의 LOLE, EENS의 변화 (ES<sub>M</sub>=50MWh)

Table 6 Variation in System LOLE and EENS with/without ESS (ES<sub>M</sub>=50MWh)

		Without WTG&ESS	With WTG only	With WTG+ESS
LOLE [Hours/year]	Case 1	36.47	18.33	16.31
	Case 2		12.978	9.724
EENS [MWh/year]	Case 1	1383.9	571.2	529.6
	Case 2		389.4	304
EIR	Case 1	0.99971	0.99988	0.99989
	Case 2		0.99992	0.99993
Frequency of Outage	Case 1	3173	1595	1419
	Case 2		1129	846

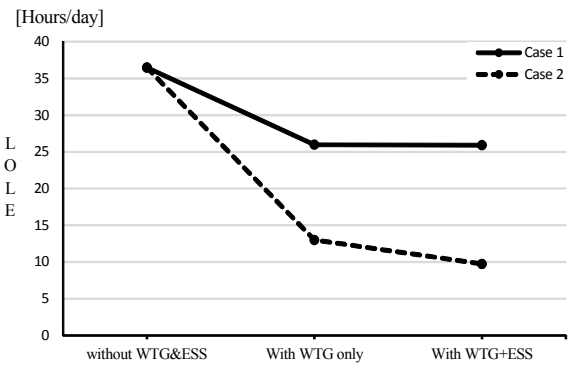


그림 12 풍력단지별 각 Case용량 변화에 따른 LOLE 지수 변화

Fig. 12 Changes in the LOLE Index Value according to Varying Capacities for Each Case with Regards to Each Wind Farm

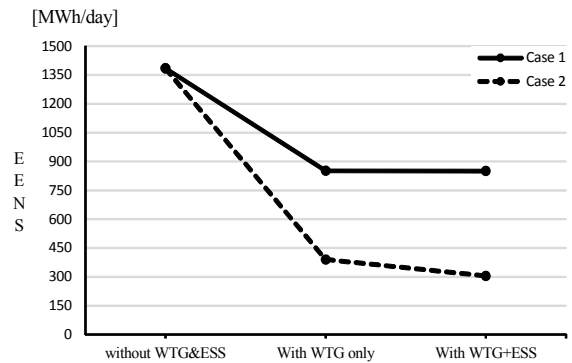


그림 13 풍력단지별 각 Case용량 변화에 따른 EENS 지수 변화

Fig. 13 Changes in the EENS Index Value according to Varying Capacities for Each Case with Regards to Each Wind Farm

### 5. 결 론

본 논문에서는 풍력 발전기(WTG)와 에너지 저장장치(ESS)를 포함한 제주도 전력계통의 공급적정도 신뢰도 평가를 위한 기본 모형 및 알고리즘의 한 예를 제시하였다.

대규모 풍력발전기는 큰 전력 변화와 함께 전력공급의 안정적인 공급에 큰 위협을 초래할 수 있다. 하지만 이러한 위협은 에너지 저장장치를 설치함으로써 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 풍력발전기의 출력과 에너지 저장장치의 최대 및 최소에너지제약 및 시간당 충/방전 출력 제한을 고려한 충/방전 출력 그리고 부하 등을 모두 시계열 모델을 기반으로 한 모형으로 세우고 이를 몬테카를로 모의 방법을 이용하여 공급적정도 측면에서의 신뢰도 평가를 실시하는 방법을 제안하였다. 여기서, 전력공급의 안정성 문제를 고려하기 위하여 풍력 발전기출력의 공급제한을 고려하였다.

따라서 본 연구에서 제안하는 모형을 이용하면 에너지저장장치에 대한 경제성 평가 및 신뢰도 분석이 가능하며 더불어 감도 해석 등을 통하여 ESS의 적정용량 도출과 활용방안이 마련될 것으로 사료된다. 나아가 풍력발전단별 ESS가 각각 설치된 상황에서 전력계통운용시스템에 적용가능한 수준의 신뢰도정보시스템의 구축이 이루어질 것이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 차후 실 계통에 ESS를 병입하였을 경우에 풍력 발전기와 에너지 저장장치를 포함하는 신뢰도평가를 위한 기초자료에 크게 기여할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

This work was supported by the Korean National Research Foundation(NRF) (No,#2012R1A2A2A01012803) and Korea Electric Power Co.(KEPCO)

#### References

[1] P.Hu, R.Karki, Roy Billinton, "Reliability Evaluation of Generating Systems Containing Wind Power and Energy Storage", Journal of IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 3, no. 8, pp.783-791, 2009.

[2] Kyeonghee Cho, Jeongje Park, and Jaeseok Choi, "Probabilistic Reliability Based Grid Expansion Planning of Power System Including Wind Turbine Generators", Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 7, no. 5, pp.698-704, 2012.

[3] Jaeseok Choi, Jintaek Lim and Kwang Y. Lee, "DSM Considered Probabilistic Reliability Evaluation and an Information System for Power Systems Including Wind Turbine Generators", IEEE TRANSACTIONS ON SMART

GRID, vol. 4, no. 1, pp.425-432, 2013.

[4] Kyeonghee Cho, Jeongje Park, Taegon Oh, Jaeseok Choi, "Probabilistic Reliability Evaluation of Composite Power Systems Including Wind Turbine Generators", KIEE, University of Incheon, 2010.

[5] Ungjin Oh, Yinchan Lee, Jintaek Lim, Jaeseok Choi, Yongbeum Yoon, Byunghoon Chang, Sungmin Cho, "Reliability Evaluation of Power System considering Wind Turbine Generator and Energy Storage System", KIEE, Jeju Grand Hotel in Jeju, 2014.

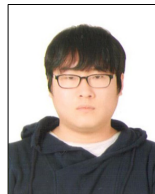
[6] Roy Billinton, Wenyuan Li, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press, 1994.

## 저 자 소 개



#### 오 응 진(Ungjin Oh)

1985년 7월 6일생. 2013년 경상대 전기공학과 졸업. 2014년~현재 경상대 석사 과정.  
Tel : 055-772-1715  
E-mail : vkdlksf@nate.com



#### 이 연 찬(Yeonchan Lee)

1984년 11월 25일생. 2011년 경상대 전기공학과 졸업. 2012년~현재 경상대 석사과정.  
Tel : 055-772-1715  
E-mail : hun22ya@gnu.ac.kr



#### 임 진 택(Jintaek Lim)

1985년 8월 1일생. 2011년 경상대 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년~동 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : 055-772-1715  
Fax : 055-772-1719  
E-mail : jtlim@gnu.ac.kr



**최 재 석(Jaeseok Choi)**

1958년 4월 29일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991년~현재 경상대 교수.

Tel : 055-772-1715

Fax : 055-772-1719

E-mail : jschoi@gnu.ac.kr



**윤 용 범(Yongbeum Yoon)**

1958년 9월 28일생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1995년 동 대학원 전 졸업(박사), 현재 한전 전력연구원 ESS 연구사업단 단장

E-mail : yunybon@kepco.co.kr



**장 병 훈(Byunghoon Chang)**

1964년 3월 21일생. 1989년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원전기 공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한전 전력연구원 ESS연구사업단 책임연구원

Tel : 042-865-5820

E-mail : jang7@kepco.co.kr



**조 성 민(Sungmin Cho)**

1980년 10월 03일생. 2003년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 석사 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 박사 졸업. 현재 한전 전력연구원 ESS연구사업단 선임연구원

TEL : 042-865-5968

E-mail : chosmin@kepco.co.kr