

# 제주 계통 신재생 발전 자원의 유효 공급능력 추정에 관한 연구

## A Study on Estimation of Capacity Value for Renewable Generation in Jeju-Island

위 영 민<sup>\*</sup>

Young-Min Wi<sup>\*</sup>

### Abstract

In the case of renewable generation resources, the supply capacity is determined by the climate and environment factors unlike the existing generators. Therefore, it is necessary to calculate the capacity value for estimating the supply capacity of renewable generation sources. In this paper, a case study on the estimation method of capacity value of renewable generation resources and a verification using data of Jeju-Island power system are presented. This paper is different from the existing researches because of estimating the capacity value of renewable generation resources for the Jeju-Island power system, which has a high ratio of renewable generation.

### 요 약

신재생 발전 자원의 경우 기존 설비와 다르게 기후 환경적 요소에 의해 공급능력이 결정되기 때문에 신재생 발전 자원의 공급능력 산정을 위해 실효공급용량 계산이 필요하다. 본 연구에서는 신재생 발전 자원의 공급능력 추정 방법에 대한 국내·외 사례조사와 국내 제주 계통의 데이터를 이용한 검증 내용을 담고 있다. 본 논문은 신재생 발전 비율이 높은 제주계통을 별도로 신재생 발전 자원의 실효 공급능력을 추정한 것으로 기존 국내 연구와 차별성이 있다.

*Key words : Capacity value, Renewable generation, Capacity factor, Jeju-Island power system*

### 1. 서론

환경변화와 정책적 지원으로 인해 신재생 발전 자원의 계통 병입이 증가함에 따라 전력계통 운영을 위해 신재생 발전 자원의 특성을 반영한 전력계통 운영 기술에 대한 필요성이 높아지고 있다. 신

재생 발전 자원은 기존의 전통적인 화석연료 기반의 발전원과 다르게 발전능력에 대한 특성이 기후 환경적 특성에 의해 크게 좌우된다. 예를 들어 발전기의 정격용량, 증감발률, 고장률 등의 발전기 특성값을 기존 발전기 경우 확정적인 값으로 표현하기 쉬우나 신재생 발전 자원은 그렇지 않다.

\* School of Electrical and Electronic Engineering, Gwangju University

★ Corresponding author

E-mail : ymwi@gwangju.ac.kr, Tel:+82-62-670-2035

※ Acknowledgment

This Study was conducted by research funds from Gwangju University in 2019

Manuscript received Jun. 6, 2019; revised Jun. 24, 2019; accepted Jun. 25, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전력계통 운영자는 신재생 발전 자원의 규모가 매우 작을 때는 순부하(net-load)형태로 취급하여 전력계통 운영에 신재생 발전 자원을 반영하였다. 그러나 환경적 요소와 정부의 재생에너지 3020과 같은 정책으로 인해 신재생 발전 자원의 전력계통 내 비중이 높아지고 있는 현재에는 이전처럼 단순히 순부하로 신재생 발전 자원을 취급하기에는 전력계통 운영의 안정성 확보에 어려움이 따른다.

신재생 발전 자원 활용의 효율성을 확보하기 위해 발전 자원의 특성 분석이 필요하며, 전력계통 운영자 입장에서는 기존 발전 자원과 다르게 신재생 발전 자원은 기후 환경과 설치 위치의 영향으로 정격출력이 힘들기 때문에 신재생 발전 자원의 실효 용량 파악이 우선시 된다.

신재생 발전 자원의 공급 능력 추정을 위해 국외 전력계통 운영 기관에서는 이용률 기반의 방법과 발전기의 고장률을 고려한 확률론적 방법을 사용한다. 국내의 경우 2년마다 발표되는 전력수급기본계획에서는 위의 2가지 방법을 기본 모델로 차수에 따라 선택해서 사용하고 있다[1].

본 연구에서는 신재생 발전 자원의 공급능력 추정 방법에 대한 국내·외 사례조사와 국내 제주 계통의 데이터를 이용한 검증을 진행하였다.

## II. 본론

### 1. 신재생 발전 자원의 공급능력

신재생 발전 자원의 보급률 증가에 따라 신재생 발전 출력 특성인 간헐성과 변동성, 불확실성의 영향으로 전력계통 운영의 효율성과 안정성 저하의 문제가 발생하고 있다. 특히 국내 제주도와 같이 신재생 발전 비율이 높은 경우에는 전력계통의 안정성 문제의 심각성이 더 높아질 가능성이 있다. 따라서 신재생 발전 자원의 정확한 공급능력 산정은 전력계통 운영의 안전성과 효율성을 개선시키기 위한 필수 요건이다.

신재생 발전 자원의 공급능력은 추정 목적에 따라 단기와 장기로 나뉜다. 단기적 공급능력은 실시간/하루/주간 단위 등으로 이뤄지는 전력계통 운영을 위해 필요한 기술이며 대표적으로 가격발전 계획, 운영발전계획, 발전기 기동정지계획 등에서 활용한다. 단기적 공급 능력의 경우, 다수의 전력계통 운영 기관에서는 신재생 발전량 예측을 통해 추

정한다. 장기적 공급능력 추정은 월/연 단위 개념으로 신재생 발전 자원의 공급능력을 추정하는 것으로 발전기 유지보수계획, 송변전설비 계획, 전원설비 계획 등에 사용된다. 신재생 발전 자원의 장기적 공급능력 추정을 위해 이용률(capacity factor) 기반의 통계적 방법과 신뢰도 기반의 확률론적 방법이 주로 사용된다. 본 논문에서는 장기적 관점에서 신재생 발전 자원에 대한 공급능력 추정 방법에 대해 연구하였다.

신재생 발전 자원의 경우 기존설비와 다르게 기후 환경적 요소에 의해 공급능력이 결정되기 때문에 신재생발전원의 공급능력 산정을 위해 실효용량 계산이 필요하다. 일반적으로 신재생발전원의 공급능력은 피크기여도를 이용하여 아래 수식과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{공급능력}(MW) & \\ &= \text{정격용량}(MW) \times \text{피크기여도}(\%) \end{aligned} \tag{1}$$

제8차 전력수급기본계획에서는 국내 신재생 발전 자원의 정격용량과 피크기여도 관련 표1과 같은 정보를 제공한다[1]. 제주 지역의 경우 전국 단위와 비교 시 피크기여도가 매우 낮음을 확인할 수 있으며 아쉽게도 전력수급기본계획에서는 방법론에 대한 내용은 누락되어 있다.

Table 1. Capacity value for renewable generation depending on the region.

표 1. 국내 신재생 발전 자원 실효 용량

Year	Region	Installed Capacity (MW)	Capacity Credit (MW)	Capacity Factor (%)
2016	Country	9,284	2,685	28.92
	Jeju	380	14	3.68
2017	Country	11,316	3,065	27.09
	Jeju	405	17	4.19

국외의 경우 신재생 발전 자원의 불확실성을 반영한 용량 개념인 capacity credit 혹은 capacity value라는 용어를 사용하여 신재생 발전 자원의 실효용량을 추정한다. Capacity credit은 전력시스템의 적정 신뢰도가 유지되면서 전력시스템에서 추가할 수 있는 부하수준(load level)으로 정의하며 산정 방법으로는 ELCC(Effective Load Carrying Capacity)방법과 이용률을 이용한 통계적 방법(PCPF,

Peak-Period Capacity Factor)이 주로 사용된다 [2]-[4]. 두 방법의 장단점은 표 2와 같다. ELCC 방법은 신뢰도 기준과 발전 설비의 불확실성을 반영할 수 있기 때문에 전력시스템 운영 기준과 현실성을 반영할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이를 위해서는 발전기별 대량의 데이터가 필요하며 확률론적 방법을 구현해야하는 계산과정의 복잡성을 단점으로 갖는다. 반면에 PPCF는 계산과정이 매우 단순하여 쉽게 적용할 수 있으나 전력시스템의 현 상태를 반영하기가 어렵다.

Table 2. Capacity value for renewable generation depending on the region.

표 2. 국내 신재생 발전 자원 실효 용량

Model	Advantage	Disadvantage
ELCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reliability-based approach</li> <li>- Reflect the uncertainty of the generator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Input data is vast</li> <li>- Calculation process is complex</li> </ul>
PPCF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculation process is simple and easy to apply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Does not reflect the uncertainty of the generator</li> </ul>

2. 신재생 발전 자원 공급능력 추정 방법

본 절에서는 앞 절에서 소개한 PPCF와 ELCC 방법에 대한 내용을 기술한다. PPCF는 지정된 기간의 피크 전력시간의 신재생 발전 자원의 이용률(CF, Capacity Factor)을 계산하여 통계적으로 공급능력을 계산한다. 피크시간대의 이용률의 평균을 이용하여 계산되면 기본적인 수식은 아래와 같다[5].

$$CF_{i,t} = \frac{\text{실제출력용량}_{i,t}}{\text{정격설비용량}_i} \tag{2}$$

$$PPCF_i = \frac{\sum_{t \in T} CF_{i,t}}{T} \tag{3}$$

여기서  $CF_{i,t}$ 는  $i$ 번째 발전기의  $t$ 의 설비용량을 나타낸다.  $PPCF_i$ 는  $i$ 번째 발전기의 실효 공급능력을 의미하며  $T$ 는 피크시간대를 의미한다.

PPCF는 수식(2)와 (3)과 같이 이용률의 단순 평균을 적용하기도 하지만 신뢰구간에 따른 하위값을 적용하기도 한다. 이와 같이 이용률을 이용하여 신재생 발전 자원의 공급능력을 쉽게 계산할 수 있기 때문에 지역별, 계절별, 월별, 시간별 분석이 비교적 쉽게 가능하다[5].

ELCC 방법의 개념은 기존 전력계통에 신재생 발전 자원 추가에 따른 전력수요 공급능력을 동일한 공급지장기대값(LOLE, Loss Of Load Expectation)을 만족할 때를 계산하여 추가된 신재생 발전 전원의 유효용량으로 추정하는 방법이다. 즉, ELCC는 동일한 LOLE 조건을 만족할 때(신뢰도 지표 감소 없이) 신재생 발전 전원 추가에 따른 추가된 공급능력을 의미한다. 그림1의 예제에서는 +200 MW을 의미하며, 신재생발전원의 정격용량 대비 20%(200/1000)로 표현할 수 있다.

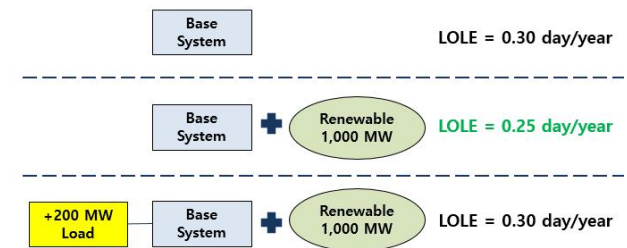


Fig. 1. Concept of ELCC.

그림 1. ELCC 개념

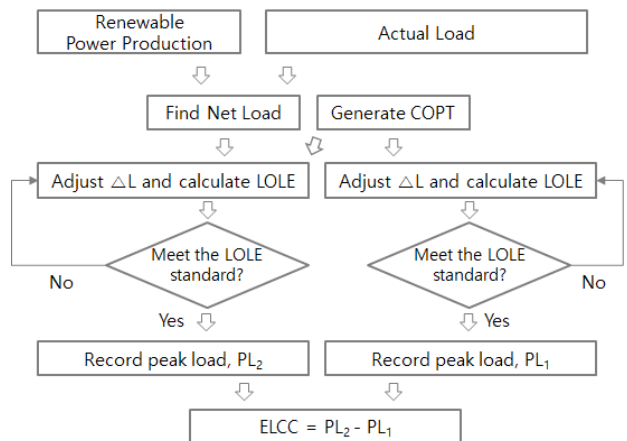


Fig. 2. ELCC calculation block diagram.

그림 2. ELCC 계산방법 절차

ELCC를 계산하는 절차는 그림 2와 같으며, 지정된 기간에 대해 전력수요와 순부하의 LOLE를 계산한 후 동일 신뢰기준에 따른 최대전력수요를 각각 계산하여 그 차만큼을 ELCC로 추정한다[6]. 그림에서 COPT(Capacity Outage Probability Table)는 공급용량별 고장확률을 의미하며 발전기의 고장정지율(FOR, Forced Outage Rate)을 이용하여 계산한다. 다음은 ELCC 계산 방법의 단계별 내용을 서술하였다.

- Step1) 모든 발전기의 고장정지율, 시간대별 전력 수요와 신재생 발전 자원 출력 데이터 준비
- Step2) 공급용량별 고장확률(COPT) 계산
- Step3) 지정된 기간에 대한 시간별 LOLP 계산
- Step4) LOLP를 이용하여 지정된 기간의 LOLE 계산
- Step5) 지정된 기간 전체에  $\Delta L(1MW)$ 을 더해 신뢰기준까지 전력수요를 조정함. 그 때의 최대전력수요( $PL_1$ )를 기록함
- Step6) 순부하(전력수요-신재생 발전 출력)을 이용해서 Step3~Step5를 반복하여  $PL_2$ 를 기록함
- Step7) ( $PL_2-PL_1$ )으로 ELCC 계산

3. 사례연구

본 절에서는 2절에서 소개한 신재생 발전 자원 공급능력 추정 방법을 제주 전력계통 데이터에 적용하여 분석한 내용을 기술한다. 사례연구를 위해 사용된 데이터는 2010년부터 2017년까지 8년 간의 제주 전력계통 발전단 출력 데이터와 신재생 발전 자원 출력 데이터이다.

PPCF 방법을 적용하기 제주 피크시간을 분석해 보았다. 8년간 제주도 일별 피크수요시간은 그림에 서처럼 19시~21시 사이에 가장 많이 발생한다.

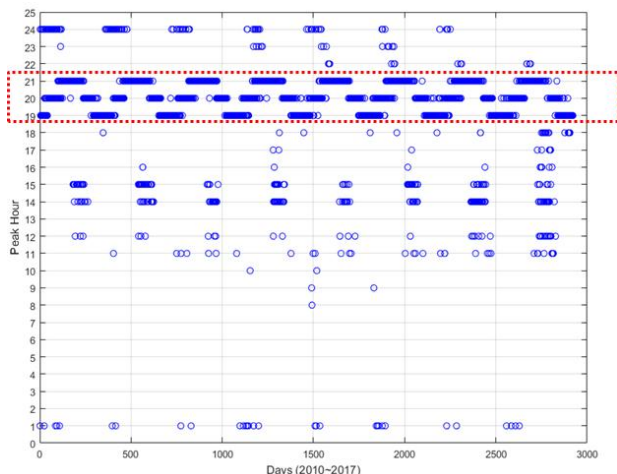


Fig. 3. Daily peak load hour in Jeju.  
그림 3. 일별 피크전력수요 시간

연도별로 일별 19시~21시 전력수요 피크시간 기간의 이용률을 이용한 신재생 발전 자원의 공급능력인 실효용량을 추정하여 표 3과 같다. 연도별로 신재생 발전 자원의 설비용량은 꾸준히 증가하고

있으나 공급능력은 14%~24%사이에 존재한다. 그림4와 같이 월별로 PPCF를 분석해 보면 여름철에 신재생 발전 자원의 공급능력이 줄어들고 겨울철에 높아짐을 확인할 수 있으며 이는 제주 신재생 발전 자원의 구성이 풍력 위주로 구성되어 있기 때문이다.

Table 3. Capacity value for renewable generation using PPCF.  
표 3. PPCF를 이용한 연도별 신재생 발전 자원 실효 용량

Year	Installed Capacity (MW)	Capacity Value (MW)	Capacity Value (%)
2010	93.6	19.0	20.3
2011	95.2	21.9	23.0
2012	112.0	22.3	19.8
2013	124.2	29.4	23.7
2014	204.4	29.5	14.4
2015	295.7	42.7	14.4
2016	363.2	61.7	17.0
2017	397.6	73.9	18.6

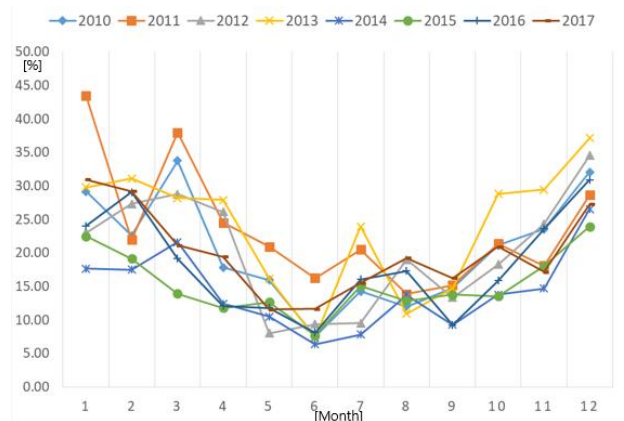


Fig. 4. Monthly PPCF.  
그림 4. 월별 PPCF

ELCC 방법의 경우 앞 절에서 설명한 절차와 같이 발전기별 고장정지율을 알아야 공급용량별 고장확률을 계산할 수 있다. 발전기 고장정지율의 경우 정보가 공개되어 있지 않기 때문에 본 논문에서 1%~4% 사이의 값으로 2017년 제주 ELCC를 추정해 보았으며 결과는 표4와 같다. 참고로 LOLE는 국내 신뢰도 기준인 0.3 day/year를 적용하였다. 표 4에서 확인할 수 있듯이 발전기 고장정지율이 낮아짐에도 신재생 발전기 공급능력이 선형적으로 증가하지 않는 것은 발전기 출력이 비선형적인 조합으로 되어있기 때문이다. 또한 PPCF의 사례연구 결과와 비교 시 ELCC가 신재생 발전 자원의 공급

능력을 더 보수적으로 추정한다. 이는 발전기기의 고장정지율이 고려되기 때문이다. 또한 제8차 전력수급기본계획 내용과 비교 시 ELCC 방법의 사례연구 결과가 유사함을 확인할 수 있었다.

표 5는 고장정지율을 1.5%로 고정하고 연도별로 신재생 발전 자원의 공급능력을 추정한 결과이다. 연도별로 PPCF와 비교했을 때 표3과 같이 신재생 발전 자원의 공급능력이 더 보수적으로 계산되었으며 설비용량의 증가에 실효공급능력이 비례하여 증가하지 않음을 확인할 수 있었다.

Table 4. Comparison of ELCC according to FOR.

표 4. 고장정지율에 따른 ELCC값 비교

FOR (%)	Capacity Value (MW)	Capacity Value (%)
1.0	14.2	3.6
1.5	15.1	3.8
2.0	24.0	6.0
2.5	34.4	8.7
3.0	30.1	7.6
3.5	22.4	5.6
4.0	28.2	7.1

Table 5. Comparison of ELCC by year.

표 5. 연도별 ELCC 비교

Year	Installed Capacity (MW)	Capacity Value (MW)	Capacity Value (%)
2010	93.6	13.6	14.5
2011	95.2	7.5	7.9
2012	112.0	11.8	10.5
2013	124.2	15.2	12.2
2014	204.4	1.9	0.9
2015	295.7	21.8	7.4
2016	363.2	36.1	9.9
2017	397.6	15.1	3.8

### III. 결론

신재생 발전 자원의 경우 기존설비와 다르게 기후 환경적 요소에 의해 공급능력이 결정되기 때문에 신재생 발전 자원의 공급능력 산정을 위해 실효공급용량 계산이 필요하다. 본 연구에서는 신재생 발전 자원의 공급능력 추정 방법에 대한 국내·외 사례조사와 국내 제주 계통의 데이터를 이용한 검증 내용을 담고 있다. 사례연구 결과 ELCC 방법이

PPCF 방법보다 신재생 발전 자원의 공급능력을 더 보수적으로 추정하며 제8차 전력수급계획의 결과와 유사함을 확인할 수 있었다. 본 논문은 신재생 발전 비율이 높은 제주계통을 별도로 신재생 발전 자원의 실효 공급능력을 추정한 것으로 기존 국내 연구와 차별성이 있다.

### References

[1] MOTIE, "8th Long term power development plan(2017~2031)," 2017.

[2] Madaeni, "Comparing Capacity Value Estimation Techniques for Photovoltaic Solar Power," *IEEE Journal of Photovoltaics*, Vol.3, No.1, pp. 407-415, 2013.  
DOI: 10.1109/JPHOTOV.2012.2217114

[3] S. Samadi, "Capacity Credit Evaluation of Solar Power Plants," *Proc. of IEEE PES General Meeting, Conference & Exposition*, 2014.  
DOI: 10.1109/PESGM.2014.6938831

[4] U. S. Department of Energy, "Capacity Value of PV and Wind Generation in the NV Energy System," 2012.

[5] C. Park, "Capacity Factor-based Approximation Approach for Calculating Capacity Credit of Solar Power in Korea," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.37, No.5, pp.13-26, 2017.

[6] K. Milligan, "Capacity Value of Wind Power," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.26, No.2, 2011. DOI: 10.1109/TPWRS.2010.2062543

### BIOGRAPHY

Young-Min Wi (Member)



2005 : BS degree in Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University.

2009 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2013 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University

2013~2014 : Engineer, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

2014~Present : Assistant Professor, Gwangju University