

재생에너지 출력제한에 따른 출력량 배분 방안 연구

The Study on the Method of Distribution of output according to Power Limit of Renewable Energy

명 호 산*, 김 세 호*

Ho-San Myung*, Se-Ho Kim*

Abstract

There is a case where the output of renewable energy(RE) is curtailed due to an increase in the share of RE.

Typically, wind power(WP) is curtailed due to oversupply and low load at midnight. However there is a case where the output of WP is limited during daytime due to the increase in share of photovoltaic(PV). In current electricity market, as the share of PV is increased, the curtailments of WP will be increased further, which will add to the difficulties of wind farm operators. In this paper, we propose a method to distribute the power limit of RE according to the criterion based on the priority constraint of the energy source which is difficult to operate the power system.

요 약

재생에너지의 점유율 증가에 의하여 출력이 제한되는 사례가 발생하고 있다. 전형적으로 풍력발전의 발전량이 높고 부하가 낮은 새벽시간에 출력제한이 주로 발생하였으나, 태양광발전의 점유율이 증가하면서 낮 시간에 풍력발전의 출력이 제한되는 사례가 발생하고 있다. 현재의 전력계통 운영 상황에서는 태양광발전의 점유율이 증가할수록 풍력발전의 출력 제한이 더욱 증가시킬 것이며, 이는 풍력발전 운영자의 어려움을 가중시킬 것이다. 본 논문에서는 발전원 그리고 발전소별 출력 제한을 위하여 전력계통의 운영 어려움 유발하는 에너지원의 우선 제약을 기준으로 설정하여 기준에 따라 재생에너지의 출력 제한량을 분배하는 방안을 제시하였다.

Key words : Renewable Energy, Power limit, Wind Power, Photovoltaic, Constraints, Curtailment

1. 서론

글로벌 기후변화로 인하여 지난 수 십 년간 전 세계적으로 재생에너지에 대한 관심이 증가하였고, 정책, 인센티브, 가격하락 등으로 풍력 및 태양광의 점유율이 급격하게 늘어났다. 재생에너지의 가변성

으로 인하여 전력 계통을 운영하는데 많은 어려움이 발생하였고, 풍력과 태양광의 점유율은 송전계통 제약 혹은 운전의 제약을 함으로써 계통운영자는 태양광 및 풍력발전을 이용 가능한 양보다 더 적게 수용하는 방안을 찾기 위해 노력하고 있는 실정이다[1].

* SK D&D

** Dept. of Electrical Engineering, Jeju National University

★ Corresponding author

E-mail : hosk@jejunu.ac.kr, Tel : +82-64-754-3675

※ Acknowledgment

This research was supported by the 2018 scientific promotion program funded by Jeju National University.

Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 20, 2019; accepted Mar. 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.

제주지역 역시 재생에너지 설비의 점유율이 제주 지역 전력공급설비용량의 약 40%까지 다다랐고, 이로 인하여 경부하 및 재생에너지의 이용률이 높아지는 시간에 풍력발전의 출력을 제한시키는 사례가 다수 발생하고 있다. 더욱이 태양광발전의 점유율 증가에 따른 공급과잉이 계통에 영향을 미쳐 출력제한이 낮 시간에 발생하고 있음에도 불구하고, 풍력발전의 발전량만을 제약시키는 사례가 증가하고 있어 풍력발전 운영자로 하여금 어려움을 가중시키고 있다[2].

본 논문에서는 이러한 출력제한의 불균형 및 풍력발전 운영자의 일방적인 부담을 줄이고, 보다 명확한 출력의 제한을 위하여 기준에 따라 재생에너지의 출력량을 분배하는 방법을 제시한다.

제한 분배량의 기준은 출력제한에 가장 영향을 주는 요인에 제한을 두는 것으로 (1) 출력제한 발생 시 발전원별 예상발전량의 비율, (2) 발전소 별 예상 발전량 및 설치년도 등을 고려하게 된다.

II. 본론

1. 재생에너지 출력제한 사례 분석

가. 재생에너지설치현황

2014년부터 2017년 10월까지의 제주지역의 풍력발전(WP)과 태양광발전(PV)의 설치현황을 표 1에 나타내었다. PV 설치 용량은 2014년부터 꾸준히 증가하여 2018년 10월까지 125 MW가 설치되어 운영 중에 있다. 풍력발전의 설치 용량은 2014년부터 2016년까지 꾸준히 증가하여 왔으나, 2016년 이후로는 현재까지 설치 용량의 변화가 거의 없으며, 현재에는 약 25 MW 육상 풍력발전이 건설 진행 중에 있다[3][4][5].

Table 1. Installation capacity of WP and PV in Jeju.

표 1. 제주지역 WP와 PV의 설치 용량

	2014	2015	2016	2017	2018
PV(MW)	45	67	79	109	125
WP(MW)	154	217	270	270	270

나. 풍력발전의 출력제한 사례

전력 계통이 수용할 수 있는 용량보다 재생에너지가 많이 공급된다면, 계통 운영자는 전력계통의

안정적인 운영을 위하여 재생에너지의 출력을 제한해야 한다[6].

제주지역의 전력계통에서는 이러한 재생에너지의 한계용량에 도달하여 풍력발전의 출력을 제한시키는 사례가 표 2에서와 같이 해마다 증가하고 있는 추세를 보이고 있다. 풍력발전의 출력 제한 사례는 2015년과 2016년에는 단 1차례를 제외하고 경부하 시간대인 새벽시간에 풍력발전의 공급과잉으로 인하여 출력의 제한이 발생하였으나, 2017년 이후에는 낮 시간에도 재생에너지의 공급과잉으로 인하여 풍력발전의 출력을 제한시키는 사례가 발생하였다. 이는 PV 보급 증가에 원인이 있는 것으로 보여 진다.

Table 2. Case of curtailment of WP in Jeju.

표 2. 제주지역 풍력발전의 출력 제한 사례

Year	Date	Time area
2015	25 th Aug. 1:00 ~ 6:00	Midnight
	2 nd Oct. 1:00 ~ 5:00	Midnight
	11 th Oct. 2:00 ~ 5:00	Midnight
2016	17 th Apr. 13:00 ~ 14:00	Noon
	16 th May 1:00 ~ 6:00시	Midnight
	29 th Oct. 1:45 ~ 4:30	Midnight
	1 st Nov. 2:15 ~ 5:48	Midnight
	8 th Nov. 3:49 ~ 4:14	Midnight
	15 th Nov. 2:50 ~ 4:50	Midnight
2017	21 th Mar. 12:15 ~ 15:10	Noon
	1 st Apr 14:30 ~ 16:10	Noon
	14 th Apr. 11:25 ~ 13:16	Noon
	26 th May 11:51 ~ 14:45	Noon
	11 th Sep. 02:30 ~ 06:00	Midnight
	16 th Sep. 03:00 ~ 05:00	Midnight
	13 th Oct. 02:00 ~ 04:40	Midnight
	16 th Oct. 02:30 ~ 04:30	Midnight

다. 미국의 재생에너지 출력제한 순서 결정 방법

재생에너지 증가에 의한 출력제한 사례는 해외 각지에서도 발생하고 있으며, 계통 운영자는 설정된 기준에 따라 출력 제한의 순서를 결정하고 있다. 순서를 결정하는 기준은 다양하며, 그 기준은 종종 출력 제한의 사유에 의해 결정되고 있다.

미국 계통운영자의 발전 제한의 결정 순서를 표

3에 나타내었다. 전형적으로 혼잡에 의한 출력 제한은 그 제한의 완화에 가장 효과적인 발전기를 기본으로 하고 있으며, 많은 기구들과 계통 운영자들이 계약과 풍력발전의 경제성을 기본으로 하여 제한을 결정하고 있다[7].

Table 3. Order of curtailment in US.

표 3. 미국의 출력 제한 순서

Utility	Curtailment Order
CAISO	Generator of most effective in relieving congestion
MISO	Generators that are most impact congestion and firm transmission service
SPP	Wind generators of the contribute 5% or greater to a constraint (divided equally).
ISO-NE	Prorated equally among affected generator that self-scheduled in day-ahead market
AESO	Most expensive energy including wind (if transmission constraint)
PSCO	Cost of the generators as well as contractual issues
Hawaii	Generally, curtailment is applied in reverse installation order. If a renewable energy plant cannot produce at least 60% of annual estimated energy production over four years, the plant loses its curtailments for portion that could not be delivered Subject Exception: FIT project, net-metered PV

라. 출력 제한 시 WP와 PV의 연간 출력 패턴

2014년부터 2016년까지 제주지역의 WP와 PV의 연평균 1일 출력 패턴을 그림 1에 나타내었다.

PV는 8시에서 18시 사이에 발전되고, 최대발전 구간은 10시에서 16시까지로 나타나고 있다. 2014에서 2016년 사이 PV의 증가에 의하여 최대발전 시간에서의 발전량이 10 MWh에서 35 MWh까지 증가한 것을 볼 수 있다. 풍력발전은 일일 발전량 패턴은 다양하지만 연간 시간 별 일일 평균 발전량 패턴은 WP 또한 낮 시간대에 높게 나타나고 있다.

여기에서, 2016년 PV의 설치용량이 79 MW의 경우가 2014년 WP의 설치용량이 154 MW인 경우보다 11시부터 16시까지의 낮 시간대 평균 발전량이 더 높게 나타나고 있다. 그리고 2016년부터 2017년 사이에 WP의 설치 용량은 증가하지 않은 반면, PV의 설치 용량은 약 30 MW가량 증가하였고, PV가 11시부터 16시까지 최대 발전을 하는 점을 고려해보면, 2017년 낮 시간에 발생하는 WP의 출력 제한은 PV의 증가와 상관관계가 있음을 알 수 있다.

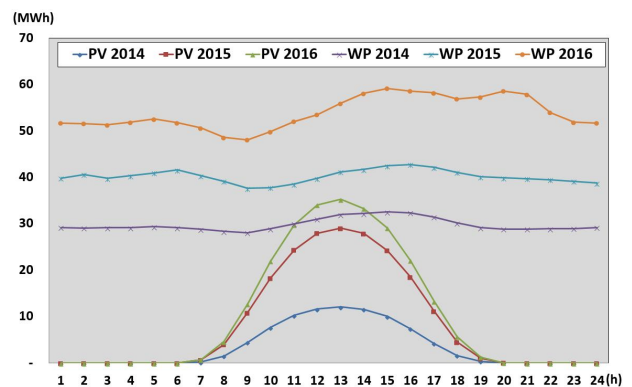


Fig. 1. Daily Generation pattern of WP & PV ('14~'16).

그림 1. WP와 PV의 일일발전량 패턴('14~'16)

2. 재생에너지 출력제한 분배 방안

가. 출력 제한량 분배 기준 설정

현재 제주지역의 경우에는 PV의 증가에 의한 공급과잉에 의한 제한까지 전부 WP운영자에게 부담시키고 있다. 그리고 WP의 제한 용량의 결정도 명확하지 않아 WP운영자 간에도 불만의 목소리가 나오고 있다. 이렇듯 출력제한 부담의 가중을 해소하고, 공정하고, 명확하게 출력을 제한하기 위해서는 재생에너지 출력제한 기준을 설정할 필요가 있다.

출력 제한량을 할당하는 기본적인 원칙은 다음과 같다.

**전력계통 운용의 어려움을 유발하는
에너지원을 우선계약**

1) 제약 발전원의 결정

출력제한의 발생 시 발전원별 예상발전량이 많을수록 적은 할당량을 받는다.

2) 발전소별 출력 제한량 할당

발전원별 할당량을 발전소별로 배분하되, 일정량의 출력량을 발전소의 수로 균등분배하고, 나머지 출력에 대해 설치순서의 역순으로 차등배분하다.

나. 출력제한 분배량 산정

출력제한 기준의 설정을 위하여, 출력 제한에 영향을 미치는 요소를 용량과 설치년도로 정하고, 이 요소들을 기반으로 출력량을 제한하는 알고리즘을 그림 2에 나타내고 있다.

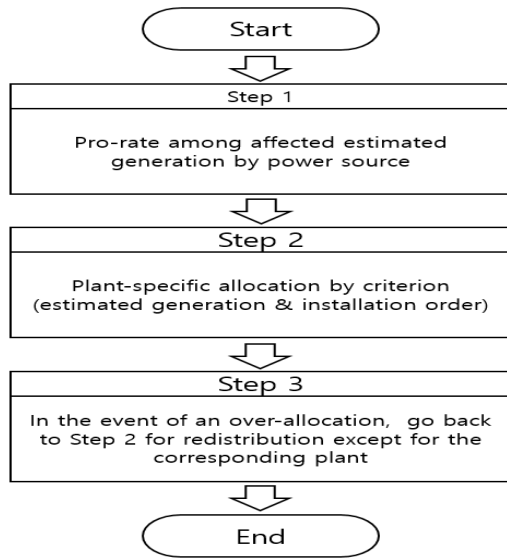


Fig. 2. Algorithm of setting scheme of constraints.
그림 2. 출력량 분배방안 알고리즘

공급과잉으로 출력제한이 발생하였을 경우, 출력 제한을 합리적으로 배분하는 방법은 다음과 같이 3 가지 단계로 구분할 수 있다.

단계1: 발전원별 출력제한 배분

출력제한 배분의 첫 번째 단계는 그림 3에서와 같이 발전원별 예상발전의 비율에 의하여 출력량을 배분한다.

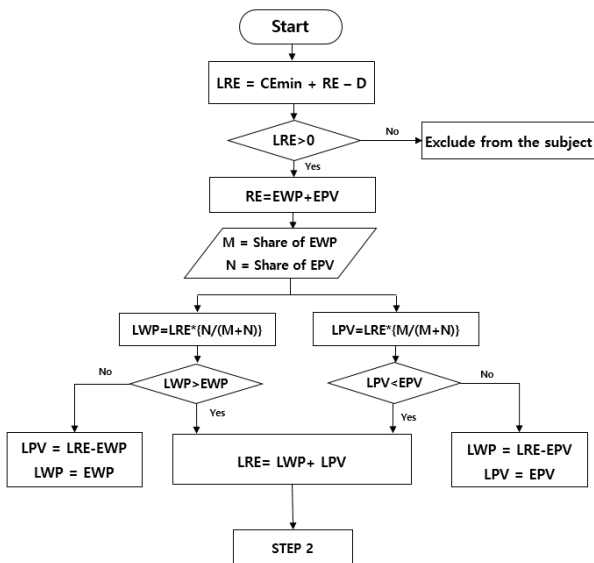


Fig. 3. Pro-rate of constraints by power source.
그림 3. 발전원별 제한량 배분

여기에서,

- EWP : 풍력발전의 예상 발전
- EPV : 태양광 발전의 예상 발전
- LRE : 재생에너지 출력 제한
- CEmin : 가동중인 중앙급전의 최소 발전
- RE : 재생에너지의 예상 발전
- D : 계통수요
- LWP : WP 전체의 출력 제한
- LPV : PV 전체의 출력 제한

우선 발전원 별 제한량의 배분을 구하기 위하여 식 (1)과 같이 재생에너지의 출력제한을 구한다.

$$LRE = (CEmin + RE) - D \tag{1}$$

여기에서 출력제한량 LRE가 0보다 클 경우에만 재생에너지의 출력을 제한시킨다.

$$RE = EWP + EPV \tag{2}$$

RE는 각 발전원의 예상발전원의 합과 같으며, 제약발전원의 결정 기준에 따라 예상발전량의 비율 M과 N을 반비례로 배분한다. 만약 LWP와 LPV가 각각 EWP와 EPV보다 클 경우 분배 대상에서 제외시키고, 다른 발전원의 출력만을 제한시킨다.

단계2: 배분된 제한에 대한 발전소별 할당

단계 1에서 발전원별로 배분된 출력 제한을 그림 4에서와 같이 발전소 별 배분 기준에 따라 출력제한을 발전소별로 할당한다.

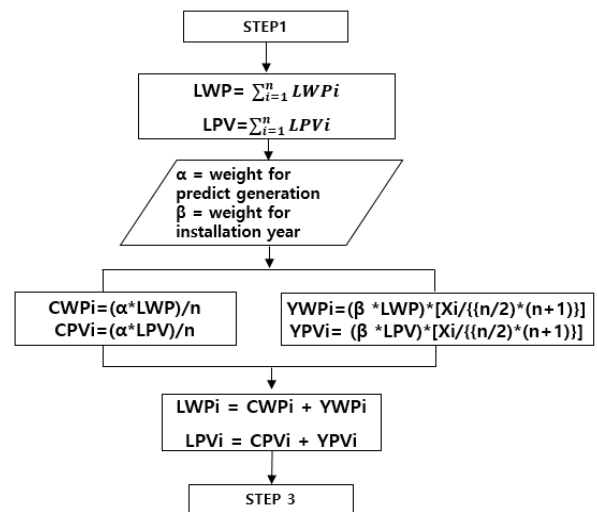


Fig. 4. Pro-rate of constraints by generation unity.
그림 4. 발전소별 제한량 배분

여기에서,

n : 발전소의 개수

X_i : (내림차순으로 정렬된) 설치년도 순위

CWP_i, CPV_i : 예상 발전량에 따른 발전소 별 출력 제한 할당

YWP_i, YPV_i : 설치년도에 따른 발전소 별 출력 제한 할당

α : 예상발전에 대한 가중치

β : 설치년도에 대한 가중치

단계2는 발전소별 출력제한량의 할당으로, 단계 1에서 배분된 LWP와 LPV를 n 개의 발전소에 할당한다.

발전소별 출력 제한의 배분을 위하여 기준을 예상발전과 설치년도로 정하였고, 기준의 비중에 따른 가중치를 α 와 $\beta(\alpha+\beta=1)$ 로 설정하였다.

기준 1. 예상 발전

예상발전에 따른 출력 제한의 할당 CWP_i 와 CPV_i 는 동등하게 제한이 할당하지만 예상발전이 큰 경우 삭감되는 발전도 많아지므로 발전에 따른 차등 배분 효과가 나타난다.

기준 2. 설치년도

설치년도에 따른 제한 할당 YWP_i, YPV_i 의 경우, 내림차순으로 발전소 별 순위(X_i)를 선정한 후 할당을 순위에 따라 차등배분 한다.

기준 1과 기준 2에서 계산된 할당의 합으로 발전소별 출력제한을 배분한다.

$$CWP_i + YWP_i = LWP_i \quad (6)$$

$$CPV_i + YPV_i = LPV_i \quad (7)$$

단계 3: 발전소별 과잉할당량에 대한 재분배

단계 2에 따라 발전소별로 출력 제한을 할당 할 경우 예상발전보다 출력 제한이 더 많이 할당 되는 경우가 발생한다.

이렇게 과잉할당이 발생한 경우, 해당 발전소의 출력 제한을 예상발전으로 설정하고, 과잉 할당된 제한을 나머지 발전소로 재분배 한다.

3. 해석결과 및 고찰

가. 수요 및 재생에너지 발전량 설정

2017년 제주지역 전력계통 운영실적으로 보면,

기본부하의 평균은 약 620 MW로 최근 5년간 평균 4.7% 씩 증가하였으므로, 이를 바탕으로 평균 수요를 4.7%씩 증가시켜 2021년 수요를 설정하였다[3].

2018년부터 2021년까지의 PV와 WP의 설치 용량은 제주지역 재생에너지 설치계획을 반영하여 각 해의 설치될 설치 용량을 표 3에 나타내었으며, 해상 풍력의 건설, 기술 발달 등에 의해 연평균 이용률을 점차 증가시켜 발전량을 설정하였다.

본 논문에서는 연도별 출력제한 배분에 사용되는 패턴이 같고, 내용이 상이함으로 2018년과 2021년의 결과만 나타내기로 한다.

Table 4. Installation capacity and CF of RE('18~'21).

표 4. 재생에너지의 설치용량과 이용률('18~'21)

YEAR	PV(MW)	CF(%)	WP	CF(%)
'18	125	13.57	270	22.4
'19	291	14	150	25
'20	130	14	170	28
'21	130	14	155	30

나. 현황 및 사례분석

표 4의 설치 예정용량을 바탕으로 2018년도와 2021년도의 출력제한 발생 시 출력제한 할당량을 본 논문에서 제시한 방법으로 시뮬레이션 해 보았다.

1) 2018년도 출력제한 분배 시뮬레이션

가) 발전원별 출력제한 할당

2017년까지의 수요와 공급데이터에 기반으로 2018년의 LRE와 EWP, EPV의 비율 M과 N 그리고 비율에 따른 출력제한의 배분 LWP와 LPV를 표 5에 나타내었다.

$$LWP = LRE \times N = 76 \text{ MW} \quad (8)$$

$$LPV = LRE \times M = 181 \text{ MW} \quad (9)$$

이때, EPV가 78 MW로 LPV보다 작으므로, 출력 제한에서 PV를 제외시킨다.

따라서, LRE에서 EPV를 제외한 176MW를 LWP로 배분한다.

Table 5. Pro-rate of constraints by power source(2018).

표 5. 발전원별 출력제한 할당(2018)

Date	LRE(MW)	M(%)	N(%)	LWP(MW)	LPV(MW)
21 st Mar.2018	254	70	30	176	-

나) 발전소 별 출력제한 할당

출력의 제어가 가능한 9개의 WP 발전소의 예상 발전량을 EWP_i 에 나타내었고, LWP 176MW를 가중치에 따라 분리한 후, 예상발전에 따라 균등 배분한 CWP_i 와 설치년도에 따라 차등 배분한 YWP_i 를 합하여 산정한 LWP_i 를 표 9에 나타내었다. 이때, 가중치 α 와 β 는 각각 0.5로 설정하였다. 그 결과 $i=1,2,5$ 에서 EWP_i 가 LWP_i 보다 크게 나타나고 있다.

Table 6. Plant-specific allocation by criterion in 2018.
표 6. 기준에 의한 출력 제한의 분배(2018)

Year	i	EWP_i (MW)	CWP_i (MW)	YWP_i (MW)	LWP_i (MW)
'07	1	18.8	9.8	17.6	27.4
'10	2	15.8	9.8	13.7	23.5
'09	3	28.9	9.8	15.6	25.4
'14	4	24.7	9.8	9.8	19.6
'12	5	10.2	9.8	11.7	21.5
'15	6	29.6	9.8	5.9	15.7
'15	7	30.3	9.8	5.9	15.7
'16	8	18.0	9.8	2	11.8
'16	9	30.6	9.8	2	11.8

다) 발전소별 출력제한 과잉할당에 대한 재분배
 $i=1,2,5$ 에서와 같이 LWP_i 가 EWP_i 보다 클 경우 그 양을 과잉할당으로 설정하고, 다른 발전소로 배분될 수 있도록 조정하였다. 표 7에서 $adjust$ (조정) 부분에 음(-)으로 표시된 부분이 과잉 할당에 대한

Table 7. Redistribution by over-allocation 2018.
표 7. 과잉할당에 대한 재분배(2018)

Year	i	EWP_i (MW)	CWP_i (MW)	YWP_i (MW)	Adjust (MW)	LWP_i (MW)
'07	1	18.8	10	18	-9.2	18.8
'10	2	15.8	10	14	-8.2	15.8
'09	3	28.9	10	16	+2.9	28.9
'14	4	24.7	10	10	+4.7	24.7
'12	5	10.2	10	12	-11.8	10.2
'15	6	29.6	10	6	+4.8	20.8
'15	7	30.3	10	6	+4.8	20.8
'16	8	18.0	10	2	+4.6	16.6
'16	9	30.6	10	2	+3.3	15.3

차감분이고, 양(+)으로 표시된 부분이 추가된 배분이다.

$adjust$ 이전에는 $i=1,2,5$ 외의 모든 발전소에서 출력의 삭감이 발생하였으나, $adjust$ 후에는 2015년 설치 이후 발전소들만 출력 삭감이 발생하였고, 용량이 크고, 설치년도가 가장 늦은 WP_9 에서 가장 많은 출력삭감이 발생하였다.

2) 2021년도 출력제한 분배 시뮬레이션

가) 발전원별 출력제한 할당

2021년의 경우, 표 8에서와 같이 재생에너지의 예상발전량 중 발전원별 예상발전량이 차지하는 비율 $M : N$ 이 0.55 : 0.45로 나타났다. 발전원별 배분을 위하여 각각의 비율에 대하여 반비례로 출력제한을 배분한 결과 LWP와 LPV가 각각 163 MW, 187 MW으로 배분되었다.

Table 8. Pro-rate of constraints by power source(2021).
표 8. 발전원별 출력제한 분배(2021)

Date	LRE (MW)	M (%)	N (%)	LWP (MW)	LPV (MW)
21 st Mar.2021	350	55	45	162	188

나) 발전소 별 출력제한 배분 및 재분배

기 설치된 WP발전소와 2021년도까지 설치 예정인 WP발전소를 총 12개로 분리하여, 발전소별 출력제한을 배분한 결과를 표 9에 나타내었다.

LWP를 LWP_i 로 배분한 결과 $WP_{1,2,5}$ 를 제외한 모든 발전소에서 출력 삭감이 발생하고 있다. 특히 2019년 이후 설치된 대규모 풍력발전소의 경우, LWP_i 가 EWP_i 의 10%~16% 정도만 할당되어 대부분의 출력이 삭감됨을 알 수 있다.

연도별로 설치 예상된 전체 PV를 한 개의 PV_i 로 설정하였고, PV_i 별로 출력제한을 배분한 결과를 표 10에 나타내었다.

2018년의 PV의 경우에는 출력제어가 불가능하여 제약을 걸 수 없다는 전제하에 LPV(188 MW)에서 EPV_1 (78 MW)을 제외시킨 후 발전소별 출력제한을 할당하였다. 그리고 나머지 PV_i ($i=2,3,4$)에 대하여 CPV_i 와 YPV_i 를 합하여 산정한 LPV_i 를 발전소 별로 배분하였다. 그 결과, 설치년도가 가장 느린 PV_4 에서 출력제한이 가장 적게 배분되었으나, EPV_i 가 가장 큰 PV_2 에 가장 많은 출력 삭감이 발생하였다.

2021년에 설치예정인 130MW의 PV 용량을 5개의 발전소 나누어 출력제한을 배분해 본 결과를 표 11에 나타내었다.

Table 9. Estimation of constraint of WPI by criteria in 2021.
표 9. 기준에 의한 WPI에 대한 출력제한의 산정(2021)

Year	i	EWPI (MW)	CWPI (MW)	YWPI (MW)	Adjust (MW)	LWPI (MW)
'07	1	18.8	6.7	12.4	-2.9	18.8
'10	2	15.8	6.7	10.4	-3.8	15.8
'09	3	28.9	6.7	11.4	+2.8	20.9
'14	4	24.7	6.7	8.3	+2.3	17.3
'12	5	10.2	6.7	9.3	-5.8	10.2
'15	6	29.6	6.7	6.2	+1.9	14.8
15	7	30.3	6.7	6.2	+1.9	14.8
'16	8	18.0	6.7	6.2	+1.9	14.8
'16	9	30.6	6.7	4.2	+1.5	12.4
'19	10	69.3	6.7	3.1	+1.4	11.2
'20	11	88.0	6.7	2.1	+1.2	10.0
'21	12	85.9	6.7	1.0	+1.1	8.8

Table 10. Estimation of constraint of PVi by criteria in 2021.
표 10. 기준에 의한 PVi에 대한 출력제한의 산정(2021)

Year	i	EPVi (MW)	CPVi (MW)	YPVi (MW)	Adjust (MW)	LPVi (MW)
'18	1	78	-	-	-	78
'19	2	141.3	18.3	27.5	-	45.8
'20	3	83.9	18.3	18.3	-	36.7
'21	4	83.9	18.3	9.2	-	27.5

Table 11. Allocation of constraint of PVi(2021).
표 11. PVi 출력제한 할당(2021)

Y	i	EPVi (MW)	CPVi (MW)	YPVi (MW)	Adjust (MW)	LWPI (MW)
'21	1	32.3	2.9	0.9	-	3.8
'21	2	19.4	2.9	0.9	-	3.8
'21	3	12.9	2.9	0.9	-	3.8
'21	4	12.9	2.9	0.9	-	3.8
'21	5	6.5	2.9	0.9	-	3.8

이 경우도 CPVi와 YPVi가 모두 같게 되므로 출력제한은 모두 균등하게 배분되나, EPVi가 가장 큰 PV₁에서 가장 많은 출력 삭감이 발생하므로, 계통운영에 어려움을 주는 요인을 우선 제약한다는 기준에 부합하는 것을 알 수 있다. 향후 재생에너지의 설비용량이 증가 할수록, 상당량의 출력 삭감이 발생한다는 것을 알 수 있었다. 만약 낮 시간 출력 제한에 많은 영향을 주는 PV를 제외시키고 WP의 발전만을 제한시킨다면 대부분의 WP가 발전을 하지 못하는 상황이 발생할 것으로 예상된다.

따라서 향후 WP의 수용능력을 높이기 위해서는 일정규모 이상의 PV 발전소에 출력 제한 장치 혹은 에너지저장장치의 설치가 반드시 필요하며, 그를 통한 출력제어가 이루어져야 할 것이다. 그리고 본 논문에서 제시한 기준 외에 예측정확도, 고장률 및 계통기여도 등을 포함하여 제약의 기준을 세분화 시킨다면, WP와 PV간의 더욱 균형 있는 출력 제한 분배 방안을 모색 할 수 있을 것이다.

III. 결론

현재 제주지역에서는 경부하 시의 재생에너지 공급과잉으로 인하여 풍력발전의 출력 제한이 빈번하게 발생하고 있다. 하지만 출력 제한의 방법에 대한 명확한 기준이 없어, 출력 제한 시 일부 풍력 발전소에 풍력 제한에 의한 과도한 손실이 발생하고 있다. 그리고 태양광 설비의 급증에 따른 공급 과잉으로 인한 출력 제한까지 모두 풍력발전 운영자가 부담하게 되어, 어려움이 가중되고 있다.

본 논문에서는 전력계통 운용에 어려움을 주는 원인 즉, 출력의 제한에 영향을 미치는 요소를 기준으로 발전원 및 발전소 별로 출력 제한량을 차등 분배하는 출력량 분배 방안 제안하였다.

향후 재생에너지의 출력 제한량을 배분 시 제시된 방안을 활용하여 출력 제한량을 배분한다면, 무분별한 재생에너지의 도입으로 인하여 기존 재생에너지 운영자들이 겪을 수 있는 어려움을 줄일 수 있을 것이며, 신규 설치 계획 중인 발전소 들이 적정 용량 및 경제성 등을 산정하는데도 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Lori Bird, "wind and solar energy curtailment: A review of international experience," *Renewable and sustainable Energy Review*, pp. 577-586, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.06.082
- [2] H. S Myung, S. H Kim, "Analysis of the Load Contribution of Wind Power and Photovoltaic Power to Power system in Jeju," *KSES* Vol. 38, No. 1, pp. 13-24, 2018.
DOI: 10.7836/kses.2018.38.1.013
- [3] *Korea Power Exchange, Operational Report of Power System in Jeju*, KPX, 2018.
- [4] *Report of Installation capacity of PV in jeju*, Jeju office, 2018.
- [5] *Carbon Free Island Jeju by 2030*, Jeju Special Self-Governing Province, 2017.
- [6] Y. H Kim, S. H Kim, *Operation Plan of ESS for Increase of Acceptable Product of Renewable Energy to Power System*, *KIEE*, Vol. 67, No. 11, pp. 1401-1407, 2018.
- [7] Lori Bird, "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the US," *NREL*, 2014.

BIOGRAPHY

Ho-San Myung (Member)



2010 : BS degree in Electrical Engineering, Jeju National University.
2013 : MS degree in Multidisciplinary Graduate school program for wind energy, Jeju National University.

2018 : PhD course in Electrical Engineering, Jeju National University.
2014~Present : O&M manager, SK D&D.

Se-Ho Kim (Member)



1983 : BS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.
1985 : MS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.
1992 : PhD degree in Electrical Engineering, Yonsei University.

1993~Present : Professor, Dept. of Electrical Engineering, Jeju National University.