

재생에너지 변동성 대응을 위한 실제 출력 성능에 기반한 유연성 평가 방법

A Flexibility Assessment Method Based on Actual Output Performance to Address the Variability of Renewable Energy

송승현*, 이옥륜*, 우주희*

Seung-Heon Song*, Wook-Ryun Lee*, Joo-Hee Woo*

Abstract

As the variability of renewable energy output increases, there is a growing emphasis on flexible resources that facilitate effective output control to maintain the stability of the power grid. In the absence of such flexible resources, grid instability, including large-scale blackouts, may occur. Therefore, methods for assessing flexibility are essential for the effective utilization of flexible resources that mitigate variability. This study proposes a performance-based assessment method to accurately evaluate the effectiveness of flexible resources, considering both grid stability and efficiency. The validity of this method was verified through a case study that accounted for potential errors during actual operations.

요약

재생에너지 출력 변동성이 증대됨에 따라 전력망의 안정성을 유지하기 위해 출력을 쉽게 제어할 수 있는 유연성 자원이 더욱 중요해지고 있다. 이러한 유연성 자원이 없을 경우, 대규모 정전과 같은 전력망 불안정 문제가 발생할 수 있다. 따라서 변동성을 대응하기 위해서는 유연성 자원을 효과적으로 사용해야 하며, 이를 위해 효과적인 유연성 평가 방법이 필수적이다. 과거에 제안된 유연성 평가 방법 중 하나는 해당 자원의 출력 상한 및 하한과 출력 증·감발률의 비율을 사용하여 평가를 수행하는 것이다. 본 연구에서는 전력망의 안정성과 효율성을 고려하여 유연성 자원의 성능을 정확하게 평가하기 위한 성능 기반 평가 방법을 제안하였다. 이러한 성능 기반 평가 방법의 타당성은 과거에 취득된 실 운영데이터를 통해 실제 운영 중에 발생할 수 있는 상황을 고려하여 검증하였다.

Key words : Renewable energy, Flexible resources, Grid stability, variability, Performance based assessment

* Researcher, Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

★ Corresponding author

E-mail : seungheon.song003@kepco.co.kr,

Tel : +82-42-865-5706

※ Acknowledgment

This research was partially supported by Korea Electric Power Research Institute. (Grant number: R20GA06)

Manuscript received Aug. 19, 2024; revised Sep. 5, 2024; accepted Sep. 20, 2024.

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.

1. 서론

국내의 전력계통은 중장기 전력수요 전망 및 이에 따른 전력설비 확충을 위해서 2년 주기로 전력수급기본계획을 수립하고 있다. 향후, 15년간의 장기계획을 수립하며, 주로 직전 계획에 대한 평가, 장기 수급전망, 수요관리 목표, 발전 및 송변전 설비계획, 분산형 전원 확대, 온실가스 감축방안 등을 다루고 있다. 2023년 1월에 발표된 제10차 전력수급기본계획에 따르면 2036년까지 목표수요는 동계기준 110.1GW로 연평균 1.1%씩 증가할 것으로 전망하고, 이에 필요한 목표설비 용량은 143.9GW로 계획하고 있다. 발전원별 설비용량 추이

를 살펴보면 석탄 발전은 2023년 40.2GW에서 2036년 27.1GW로 감소하고, 원자력 발전은 26.1GW에서 31.7GW로 신재생 발전은 32.8GW에서 108.3GW로 LNG 발전은 43.5GW에서 62.9GW로 증가되는 것으로 나타난다. 여기서 신재생 발전은 전체 설비용량의 약 45% 수준으로 매우 높은 비중을 차지하나 실효용량 기준으로 보면 약 10%정도로 점점 전력수급에 있어서 어려움이 발생할 것으로 예상된다. 특히, 신재생 발전원 중 약 92%가 풍력과 태양광 발전원이 차지하고 있으며, 해당 발전원들의 특징 중 하나는 기후의 영향을 많이 받아 출력 변동성이 크다는 것이다. 이러한 자원들의 비율이 점점 증가하여 기존의 출력 제어가 용이한 발전원들이 전력계통 운영계획에서 제외됨에 따라 계통 내 유연성의 감소로 인해 계통 안정도를 기준 내로 유지하기 더욱 어려워지고 있다.

해외에서는 국내보다 훨씬 앞서서 선진국을 중심으로 온실가스 배출량 감축을 위해 석탄 발전 감축, 재생에너지 확대 등의 친환경 에너지 전환 정책을 적극적으로 추진하고 있다. 이 중에서 미국 캘리포니아지역의 계통운영자(California Independent System Operator)는 많은 태양광 발전원으로 인해 발생하는 덤커브 현상 및 출력 변동성에 대응하기 위해 유연성 자원 서비스를 신설하여 운영 중에 있다. 또한, 국내와는 달리 실시간 전력시장을 운영하고 있어서 전력수급에 더욱 용이한 부분도 있다. 유럽 국가의 경우에는 인근 국가 간에 전력망이 연계되어 있기 때문에 부족한 전력량을 공급 받을 수 있어 재생에너지를 적극적으로 증가시킬 수 있다. 그러나 국내 전력계통은 독립계통으로써, 인근 국가로부터 전력을 수입할 수도 없고 아직 하루 전 전력시장을 운영함으로써, 신재생 발전원의 증가에 따른 문제가 더욱 심각해질 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 실시간 전력시장 도입 및 유연성 자원 보상을 위한 제도 개선을 위한 여러 가지 대응 방안을 추진하고 있으나 아직까지는 명확하게 구축된 것은 없다[1]-[3].

본 논문에서는 재생에너지 증가에 따라 출력 변동성에 대응하기 위한 유연성 자원들의 제공능력을 적절하게 평가하기 위한 방법을 제안한다. 국내 전력계통에서 자동발전제어 보조서비스의 정산 및 이행상태 평가를 위해 실제 출력 증·감발률을 측정하고 있으며, 이를 이용하여 실제 출력 성능 기반으로 평가하는 것이다. 이는 필요한만큼의 유연성 자원을 투입할 수 있어 신뢰성 있고 효율적인 계통 운영을 수행할 수 있도록 할 것이다.

II. 전력계통 안정화를 위한 유연성 자원 필요성

국내에서는 재생에너지 출력 변동성에 대응하기 위해 시장제도를 보완하고자 계획하고 있으며, 유연성 자원 보상제도와 일부 재생에너지에 대하여 출력제어 기능을 의무적으로 도입하도록 제도화를 추진하고 있다.

1. 국내 재생 발전원 현황

10차 전력수급기본계획에 따라 국내 전력계통은 재생에너지를 발전비중을 2036년까지 전체의 약 31%를 달성하는 것을 목표로 하며, 그림 1은 연도별 재생에너지의 목표 발전비중과 2036년의 재생에너지의 설비용량 및 설비구성을 나타낸다[4].

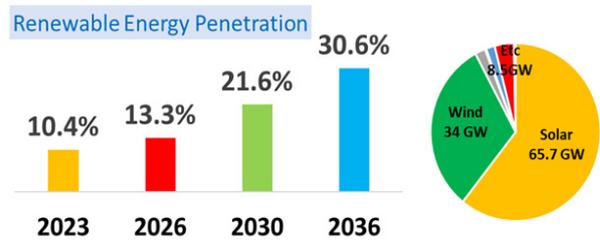


Fig. 1. Status of South Korea's Renewable Energy Plans in 2036.

그림 1. 2036년 국내 재생에너지 계획현황

2036년에 전체 재생에너지의 설비용량은 108.3GW로 그 중에서 약 92%가 풍력과 태양광 발전원으로 구성될 것으로 전망하고 있다. 해당 자원들은 출력 변동성이 매우 크며, 이로 인한 전력 수급의 문제가 중요한 이슈가 되고 있다. 다음 그림은 송전계통에 직접 연계된 대용량 태양광과 풍력 발전원들의 2020년 1월 1일부터 1월 30일까지 한 달 기준, 하루 간 평균 출력을 나타낸다.

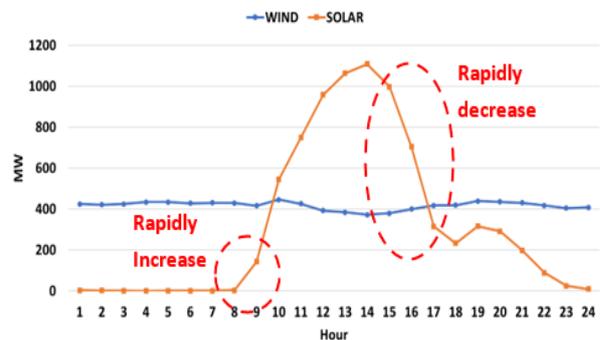


Fig. 2. Average Daily Output of Solar and Wind Power in January 2020.

그림 2. 2020년 1월 태양광 및 풍력 하루간 평균 출력

그림 2에서 태양광 출력을 살펴보면 일출 시간대에 출력이 급증하여 정오시간대에 최대 출력을 달성하고, 일몰 시간대에는 출력이 급감하는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 대응을 위해서 유연성 자원의 중요성이 매우 증가할 것으로 예상된다.

2. 기존 유연성 자원 평가방법 분석

유연성 자원의 중요성과 더불어 유연성 평가의 신뢰성도 매우 중요하며, 이를 위한 유연성 평가 방법에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다. 수식 1과 그림 3은 기존에 제안되고 있는 유연성 평가방법을 나타낸다[5], [6].

$$\begin{cases} flex_{up} = \frac{P_{max} - P_t}{2} \times (2TRIANGLEt - TRIANGLET_{up}), \\ \text{if } P_{max} < P_{Ramp_{up}}, \\ \\ flex_{down} = \frac{P_t - P_{min}}{2} \times (2TRIANGLEt - TRIANGLET_{down}), \\ \text{if } P_{min} < P_{Ramp_{down}}. \end{cases} \quad (1)$$

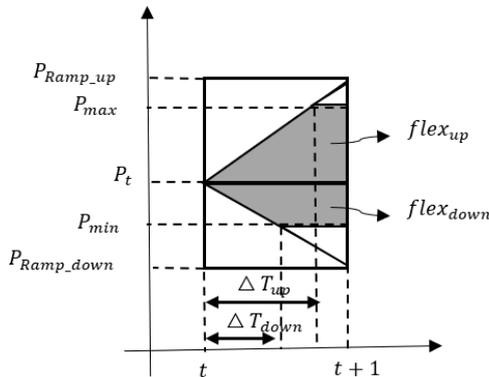


Fig. 3. Existing flexibility assessment method.
그림 3. 기존 유연성 평가방법

기존의 유연성 평가방법은 발전원의 현재 출력인 P_t 를 기준으로 출력 증·감률 R_{up} 과 R_{down} , 출력 상·하한 제약인 P_{max} 와 P_{min} 과 출력 유지시간 t 를 고려하고 상·하방향 유연성 $flex_{up}$ 과 $flex_{down}$ 으로 구분하여 유연성 평가방법을 제안하였다. 그러나 단순히 해당 발전원의 정량적인 부분만을 고려한 평가방법만을 제시하고 있다. 이러한 평가방법은 실제 운영 상에서 많은 오차가 발생할 수 있을 것을 예상된다.

III. 실제 성능기반의 유연성 평가방법

본 장에서는 재생에너지 증가에 따른 출력변동성에 대응하기 위한 유연성 자원의 제공가능한 유연량을 적절하

게 평가하기 위한 평가방법을 제안하였다. 제안방법에서는 전력계통에서 특정 시간동안 필요한 유연량에 대하여 유연성 자원을 확보할 때, 해당 자원들의 출력 증·감률을 실제 출력 성능이 반영된 성능 기반으로 제공가능한 유연량을 평가함으로써, 확보된 유연성 자원에 대한 신뢰성이 향상하여 효율적이고 신뢰성 높은 계통운영을 수행할 수 있다.

1. 에너지용량 고려한 유연성 평가방법

계통 내 변동성에 대응할 수 있는 자원 중 빠른 응답속도로 출력을 제어할 수 있는 전기저장장치는 전기에너지를 충·방전할 수 있고, 에너지 용량의 한계가 있어 기존의 발전원과는 다른 특성을 가지고 있다. 또한, 설비의 운영 효율을 위해서 SOC(State of Charge) 상·하한을 제한하여 운영하기 때문에 이러한 조건을 고려해야 한다. 즉, 해당 설비의 유연량은 현재 상태를 기준으로 충전 또는 방전가능한 에너지 용량에 의해서 결정되며, 이와 관련된 수식과 그림은 아래와 같다.

$$\begin{cases} C_{t,i} = C_{rate,i} \times (soc_{max,i} - soc_{t,i}), \text{if Charge} \\ C_{t,i} = C_{rate,i} \times (soc_{t,i} - soc_{min,i}), \text{if Discharge} \\ flex_{up,i} = C_{t,i}, \quad flex_{up,i} \geq C_{t,i} \\ flex_{up,i} = flex_{up,i}, \quad flex_{up,i} < C_{t,i} \\ flex_{down,i} = C_{t,i}, \quad flex_{down,i} \geq C_{t,i} \\ flex_{down,i} = flex_{down,i}, \quad flex_{down,i} < C_{t,i} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, $C_{t,i}$ 는 제공가능한 에너지용량이며, $C_{rate,i}$ 는 최대 에너지용량, $soc_{t,i}$ 는 현재 soc 상태, $soc_{max,i}$ 와 $soc_{min,i}$ 는 각각 soc 상하한 값이다.

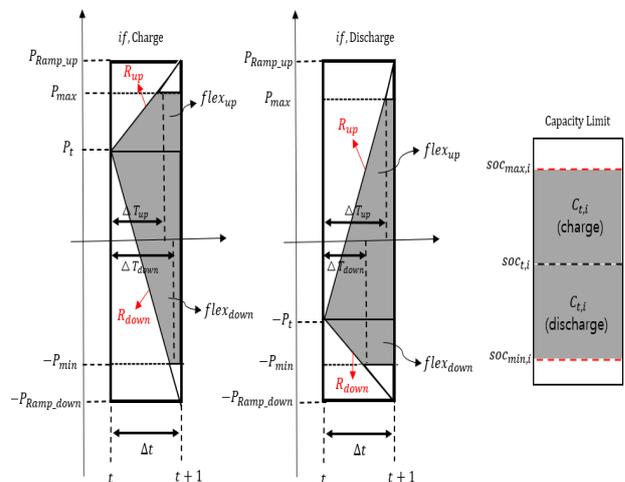


Fig. 4. Method for Assessing the Flexibility of Energy Storage Systems (ESS).

그림 4. 전기저장장치 유연성 평가방법

전기저장장치는 현재 충전 중일 때와 방전 중일 때의 조건에 따라 가능한 출력이 바뀌어 제공가능한 유연량도 변형될 수 있다. 또한, 현재의 SOC 상태에 따라서 요구되는 출력지속시간과 출력에 따라서 에너지 용량의 제한을 고려하여 해당 자원의 유연성을 평가해야 된다.

2. 이행률 고려한 유연성 평가방법

국내 전력계통에서는 원활한 계통운동을 위해서 계통 운영보조서비스를 운영하고 있다. 이 중에서 실시간 전력 수급 균형을 유지하기 위해서 자동발전제어 서비스를 적용하고 있으며, 해당 보조서비스를 제공한 설비에 대하여 사전에 제출한 신고값과 실제 운영 중인 상태에서 측정된 값을 비교하여 이행상태 평가를 하고, 정산 시에 적용하고 있다. 이행상태 평가는 일정시간동안에 목표 출력 신고값을 주고 해당 발전기의 실제 출력값을 측정하여 아래 수식과 그림과 같이 평가한다[7].

$$\begin{cases} R_{up_{test}} = \frac{P_1 - P_2}{t_1 - t_2} \\ R_{down_{test}} = -\left(\frac{P_1 - P_2}{t_1 - t_2}\right) \end{cases} \quad (3)$$

여기서, t_1 과 P_1 은 측정 시작시간 및 시작점 출력이며, t_2 과 P_2 는 측정 종료시간 및 종료점 출력이다.

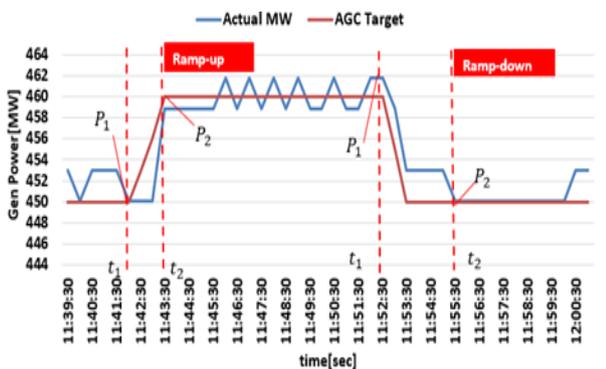


Fig. 5. South Korea's Power Grid Output Ramp Rate Measurement Example.

그림 5. 국내 전력계통 출력 증·감발률 측정 예

위 그림과 같이 측정된 출력 증·감발률을 해당 발전소에서 제출하였던 신고값과 비교하여 80% 이상일 경우에만 자동발전제어 서비스를 이행한 것으로 평가하여 정산에 반영한다. 본 논문에서는 현재 국내 자동발전제어 이행상태 평가를 위해 적용 중인 증·감발률 측정값을 활용하여 실제 출력 성능 기반의 유연성 평가방법을 도

출하고자 하며, 우선적으로 신고값과 측정값의 비율을 이행률이라고 정의하고, 관련 수식은 아래와 같다.

$$\frac{R_{up_{test}}}{R_{up}} = \alpha_{up}, \quad \frac{R_{down_{test}}}{R_{down}} = \alpha_{down} \quad (4)$$

여기서 R_{up} 과 R_{down} 은 출력 증·감발률 신고값이며, $R_{up_{test}}$ 와 $R_{down_{test}}$ 는 출력 증·감발률 측정값이다. 수식 (4)를 통해 대상 발전원별 산정된 이행률을 유연량 산정에 적용하여 실제 출력 성능이 반영된 유연성을 평가할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 평가방법의 최종 수식 및 그림은 아래와 같다.

$$\begin{cases} FLEX_{up} = \frac{P_{max} - P_t}{2} \times (2TRIANGLE - TRIANGLE'_{up}) \\ = flex_{up} \times \alpha_{up} \\ FLEX_{down} = \frac{P_t - P_{min}}{2} \times (2TRIANGLE - TRIANGLE'_{down}) \\ = flex_{down} \times \alpha_{down} \end{cases} \quad (5)$$

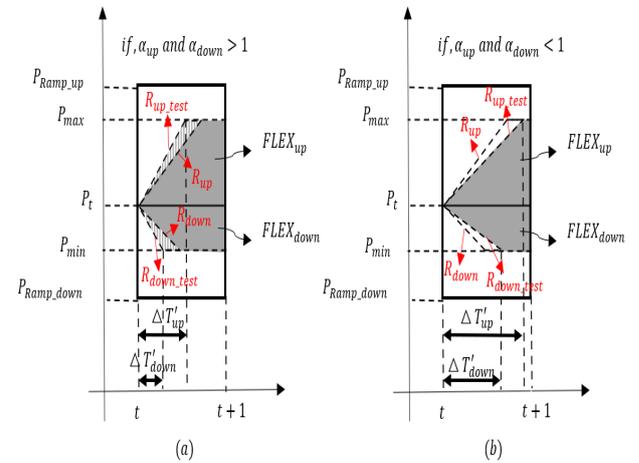


Fig. 6. Proposed Flexibility Assessment Method.

그림 6. 제안된 유연성 평가방법

그림 6-(a)과 같이 대상 발전원의 출력 증·감발률이 신고값보다 측정값이 더 우수한 것으로 산정되면 해당 발전원이 제공가능한 유연량은 증가하게 될 것이고, 그림 6-(b)와 같이 신고값보다 측정값이 미흡한 것으로 산정되면 제공가능한 유연량은 감소되어 평가될 수 있다. 즉, 해당 발전원의 실제 성능이 고려된 제공가능한 유연량을 평가할 수 있어 신뢰성 및 정확성을 확보할 수 있다. 추가적으로 현재의 증·감발률의 측정값은 현재 각 발전원의 자동발전제어서비스 이행상태 평가를 위해 취득되는 데이터로써, 본 논문에서 제안한 유연성 평가를

위해서는 해당 데이터를 가장 최신의 상태로 유지해야 하며, 현재 구축되어 있는 SCADA 시스템 등을 통해 실시간으로 취득되는 값을 이용하면 해당 발전기의 가장 최신의 운전 상태가 반영되기 때문에 도출된 측정값의 더 높은 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

IV. 사례 연구

본 사례 연구에서는 재생에너지의 출력 변동성을 대응하기 위한 각 발전기의 제공가능한 유연량을 평가하기 위해 본 논문에서 제안한 실제 성능 기반의 유연성 평가 방법을 적용하고, 제안한 방법의 타당성을 검증하고자 한다. 이를 위해 국내 전력거래소에서 자동발전제어 이행상태 평가를 위해 각 발전원으로부터 취득되는 출력 증·감발률 신고값과 측정값의 과거 데이터를 표 1과 같이 나타냈다[8].

Table 1. Output Ramp Rate Data for Each Generation Source.

표 1. 발전원별 출력 증·감발률 데이터

Unit No.	Type	R_{up} [MW/min]	R_{down} [MW/min]	$R_{up_{best}}$ [MW/min]	$R_{down_{best}}$ [MW/min]
1	Coal	10	10	8.4	9.6
2		15	15	12.3	10.7
3		15	15	10.3	9
4		15	15	12.9	10.3
5		27.9	27.9	20.3	6.1
6		10	10	12.8	12.8
7		10	10	14.4	11.8
8		15	15	6.2	15.5
9	LNG	27.5	27.5	31	31
10		27.5	27.5	37.8	34
11		27.5	27.5	34	34
12		27.5	27.5	42.5	42.5
13		11.7	11.7	14.4	14.4
14		11.7	11.7	15	15
15		11.7	11.7	16.4	12.8
16		PSH	100	100	113.3
17	100		100	160	106.7
18	100		100	160	160
19	22.5		22.5	21	21
20	ESS (Battery)	960	960	1,100	1,100
21		1,440	1,440	1,600	1,600
22		1,920	1,920	1,750	1,750

표 1에서 알 수 있듯이 대부분의 발전기들의 출력 증·감발률은 신고값과 측정값 간 오차가 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 신고값을 기준으로 유연성 자원을 평가하여 확보하게 되면 실제 운영 상에서 발생하는 오차로 인하여 필요한 유연량보다 과도하게 많은 자원을 확보하거나 적게 확보함으로써 비효율적인 계통 운영이 이루어질 수 있음을 알 수 있다. 다만, 현재 전기저장장치의 경우에는 자동발전제어에 대한 정산을 받지 않아 측정데이터 부족으로 신고값과 측정값은 임의로 가정하였다. 또한, 본 논문에서 제안한 평가방법을 적용하기 위해 전기저장장치의 출력 및 SOC 등 제약조건을 아래 표와 같이 가정하였다.

Table 2. Constraints of ESS.

표 2. 전기저장장치 제약조건

Unit No.	P_t [MW]	P_{max} [MW]	P_{min} [MW]	C_{rate} [MWh]	$soc_{t,i}$ [%]	$soc_{max,i}$ [%]	$soc_{min,i}$ [%]
20	4	16	-16	8	50	80	30
21	-12	24	-24	12	65	80	30
22	10	32	-32	16	70	80	30

1. Case 1

Case 1은 신고값 대비 실제 성능이 저하된 발전원으로만 유연성 서비스를 제공할 때의 기존의 방법과 제안된 방법의 차이를 분석하고자 한다. 이때, 현재를 기준으로 5분간 180[MW*5min]의 상향 유연량과 200[MW*5min]의 하향 유연량이 필요한 것으로 가정하였으며, 그 결과는 아래 표 3, 4과 같다.

Table 3. Output and Fulfillment Rates for Each Generation Source (Case 1).

표 3. 발전원별 출력 및 이행률 (Case 1)

Unit No.	P_t [MW]	P_{max} [MW]	P_{min} [MW]	α_{up}	α_{down}
1	300	450	260	0.84	0.96
2	340	460	260	0.82	0.7133
3	350	480	200	0.6867	0.6
4	400	500	280	0.86	0.6867
19	120	150	30	0.9333	0.9333
22	10	32	-32	0.9115	0.9115

표 4를 살펴보면, 단순히 신고값을 기준으로 제공가능한 유연량을 평가했을 경우에는 필요 유연량보다 더 많은 유연량을 제공할 수 있을 것으로 평가되어 해당 자원

들로 유연량을 제공하도록 운영계획을 고려할 것이다. 그러나 실제 성능을 고려했을 경우에는 필요 유연량보다 훨씬 적은 유연량을 제공할 수 있을 것으로 평가되기 때문에 추가적인 유연성 자원을 확보하여 운영계획을 고려할 것이다. 즉, 실제 운영상에는 해당 자원들이 신고값보다 훨씬 저하된 유연량 제공으로 필요 유연량을 충족시키지 못하여 전력수급에 문제가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

Table 4. Flexibility Assessment Results (Case 1).

표 4. 유연성 평가 결과 (Case 1)

Unit No.	$flex_{up,i}$ [MW*5min]	$flex_{down,i}$ [MW*5min]	$FLEX_{up,i}$ [MW*5min]	$FLEX_{down,i}$ [MW*5min]
1	25	24	21	23.04
2	37.5	37.5	30.75	26.75
3	37.5	37.5	25.75	22.5
4	37.5	37.5	32.25	25.75
19	26	54	24.27	50.4
22	21.97	41.91	20.03	38.19
Total	185.47	232.41	154.05	186.63

2. Case 2

Case 2는 신고값 대비 실제 성능이 우수한 발전원으로만 유연성 서비스를 제공할 때의 비교 분석하고자 한다. 이때, 현재를 기준으로 5분간 400[MW*5min]의 상향 유연량과 300[MW*5min]의 하향 유연량이 필요한 것으로 가정하였으며, 그 결과는 아래 표 5, 6과 같다.

Table 5. Output and Fulfillment Rates for Each Generation Source (Case 2).

표 5. 발전원별 출력 및 이행률 (Case 2)

Unit No.	P_t [MW]	P_{max} [MW]	P_{min} [MW]	α_{up}	α_{down}
6	440	500	350	1.28	1.28
7	200	250	150	1.44	1.18
11	400	540	175	1.2364	1.2364
12	350	450	150	1.5455	1.5455
18	100	220	50	1.6	1.6
20	4	16	-16	1.1458	1.1458
21	-12	24	-24	1.1111	1.1111

표 6을 살펴보면, Case 1의 결과와는 반대로 신고값을 기준으로 제공가능한 유연량을 평가했을 경우에는 필요 유연량을 충족시키지 못하는 것으로 평가되어 해당 자원 외에 추가적인 유연성 자원을 확보하여 필요 유연

량을 충족시키도록 운영계획을 고려할 것이다. 그러나 실제 성능을 고려했을 경우에는 필요 유연량보다 훨씬 많은 유연량을 제공할 수 있을 것으로 평가되기 때문에 추가적인 유연성 자원 확보가 필요없고 오히려 일부 자원을 제외할 수 있을 것이다. 결과적으로 신고값을 기준으로 평가하게 되면 실제 운영상에서 필요한 유연량보다 과다하게 많은 유연성 자원을 확보하여 운영함으로써 불필요한 잉여자원이 발생하여 비효율적인 계통운영이 이루어 질 수 있다.

Table 6. Flexibility Assessment Results (Case 2).

표 6. 유연성 평가 결과 (Case 2)

Unit No.	$flex_{up,i}$ [MW*5min]	$flex_{down,i}$ [MW*5min]	$FLEX_{up,i}$ [MW*5min]	$FLEX_{down,i}$ [MW*5min]
6	25	25	32	32
7	25	25	36	29.5
11	68.75	68.75	85	85
12	63.64	68.75	98.35	106.25
18	105.6	47.5	168.96	76
20	11.99	19.96	13.73	22.87
21	35.91	11.99	39.9	13.32
Total	335.89	266.95	473.94	364.94

V. 결론

국내 전력계통에서는 탄소중립을 중점으로 하는 정부 정책으로 재생 발전원의 발전 비중이 증가하고 있으며, 이러한 자원들의 문제점 중 하나인 출력 변동성에 대응할 수 있는 유연성 자원들의 역할이 중요해지고 있다. 따라서 유연성 자원들이 갖고 있는 유연량 제공능력에 대해 정확하게 평가할 수 있는 방법의 필요성이 매우 중요해질 것이다.

본 논문에서는 단순히 발전원들의 유연성을 정량적으로 평가하는 방법의 문제점을 나타내고, 실제 출력 성능을 고려한 평가 방법을 제안함으로써 유연성을 제공하는 자원들의 신뢰성을 상승시키고 계통 안정도에 기여할 수 있는 유연성 평가 방법을 제안하였다. 이를 위해 현재 국내 자동발전제어 보조서비스 정산을 위해 적용되고 있는 이행상태 평가결과 데이터를 활용하여 발전원별 출력 증·감발률 대비 측정된 출력 증·감발률을 활용하였으며, 추가적으로 증·방전과 에너지 용량이라는 특성을 가지고 있는 전기저장장치의 평가방법도 제안하였다. 다만, 현재 측정값의 보다 높은 신뢰성 향상을 위해서는 실시간으로 측정하기 위한 방법 등이 고려되어야 한다.

사례 연구에서는 실제 성능 고려 없이 유연성 자원의 제공능력을 평가하여 운영계획을 고려할 경우, 실제 운영 상에서 많은 오차로 필요한 유연량보다 적게 확보하여 전력수급에 문제가 발생하거나 과도하게 확보하여 비효율적으로 계통 운영이 이루어질 수 있음을 확인하였다. 따라서 실제 출력 성능을 고려하여 유연성 자원을 평가할 경우, 계통 운영의 신뢰성을 향상시키고 효율적으로 운영할 수 있다.

References

- [1] Korea Energy Economics Institute, *International Renewable Energy Policy Change and Market Analysis*, 2019.
- [2] CAISO, *Flexible Ramping Product Revised Draft Final Proposal*, 2015.
- [3] CAISO, *Flexible Ramping Product Draft Final Technical Appendix*, 2016.
- [4] MOTIE, *The 10th Basic Plan for Long term Electricity Supply and Demand*, 2023.
- [5] H. Berahmandpour, "A New Flexibility Index in Real Time Operation Incorporating Wind Farms," *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2019.
DOI: 10.1109/IranianCEE.2019.8786492
- [6] Tang. X, Hu. Y, Chen. Z, and You. G, "Flexibility Evaluation Method of Power Systems with High Proportion Renewable Energy Based on Typical Operation Scenarios," *Electronics*, 9, 627, 2020.
DOI: 10.3390/electronics9040627
- [7] KPX, *Detailed Operating Standards for System Operation Auxiliary Service*, 2016.
- [8] KPX, *Detailed A Study on the Improvement of Performance Evaluation Criteria of Frequency Regulation Service (GF/AGC)*, 2018.

BIOGRAPHY

Seung-Heon Song (Member)



2017 : BS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

2019 : MS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

2019~ : Researcher, Korea Electric Power Research Institute. (KEPRI)

Wook-Ryun Lee (Member)



1997 : BS degree in Mechanical Engineering, Yonsei University.

2005 : MS degree in Mechanical Engineering, Chungnam National University.

2017~ : Principal Researcher, Korea Electric Power Research Institute. (KEPRI)

Joo-Hee Woo (Member)



1993 : BS degree in Electrical Engineering, Kyungpook National University.

1995 : MS degree in Electrical Engineering, Kyungpook National University.

2022~ : Chief Researcher, Korea Electric Power Research Institute. (KEPRI)