

# 수전해 설비의 유연자원화를 위한 계통연계 성능평가 방안에 관한 연구

두진석<sup>\*,\*\*</sup>, 박재범<sup>\*\*</sup>, 이승현<sup>\*</sup>, 김병기<sup>\*</sup>, 고재섭<sup>\*</sup>  
<sup>\*</sup>강원대학교 전기공학과, <sup>\*\*</sup>한국화학융합시험연구원  
e-mail:kokos22@kangwon.ac.kr

## A Study on Grid-connected Performance Evaluation of Water Electrolysis Facility for Flexible Resources

Jin-Seok Doo<sup>\*,\*\*</sup>, Jae-Bum Park<sup>\*\*</sup>, Seung-Hyun Lee<sup>\*</sup>, Byungki Kim<sup>\*</sup> and Jae-Sub Ko<sup>\*</sup>  
<sup>\*</sup>Dept. of Electrical Engineering, Kangwon National University  
<sup>\*\*</sup>Korea Testing & Research Institute

### 요약

본 논문에서는 신재생에너지가 도입된 배전계통에서 유연자원으로 활용될 수 있는 수전해설비에 대하여 전력 변동성에 응동하여 제어특성을 평가하는 성능검증방안을 제안한다. 구체적으로 이 성능검증은 주파수 억제 및 회복 예비력에 대한 신호데이터를 구성하고, 이를 바탕으로 수전해설비가 응동하여 성능을 평가할 수 있는 방법으로서, 최소 출력에서 최대전력까지의 응답시간 및 목표량에 대한 정확성을 평가할 수 있는 방법으로 구성된다. 따라서 본 논문에서 제시한 성능검증방안을 바탕으로 수전해 설비의 예비력 및 출력에 대한 평가방법이 계통연계가 가능할 수 있는 평가법임을 알 수 있다.

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 탄소 중립을 위하여 태양광, 풍력 발전등을 포함한 신재생에너지의 보급이 확산되고 있는 실정이다[1]. 하지만, 발전의 변동성이 큰 신재생에너지설비를 유연하게 운영하기 위하여, 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS) 등의 도입이 요구되고 있으나, ESS 설비의 제한적 도입으로 인하여 최근에는, 전력을 유연하게 제어하면서, 수소를 생산할 수 있는 수전해시스템의 개발이 진행되고 있다[2]. 하지만, 신재생이 도입되어 있는 계통에서 전력의 변동성이 클 경우, 수전해 시스템이 능동적으로 대응할 수 있도록 전력을 제어할 수 있는 기술은 가지고 있지만, 실제적으로 계통연계 평가에 관한 방법은 없는 상황이다.

따라서 본 논문에서는 신재생에너지가 도입된 배전계통에서 전력의 변동성에 따라 수전해 시스템이 유연하게 제어하여 연계될 수 있도록 계통연계 평가 기술에 대한 성능검증방안을 제안한다. 구체적으로 이 성능검증은 주파수 억제 및 회복 예비력에 대한 신호데이터를 구성하고, 이를 바탕으로 수전해설비가 응동하여 성능을 평가할 수 있는 방법으로서, 최소 출력에서 최대전력까지의 응답시간 및 목표량에 대한 정확성을 평가할 수 있는 방

법으로 구성된다. 따라서 본 논문에서 제시한 성능검증방안을 바탕으로 수전해 설비의 예비력 및 출력에 대한 평가방법이 계통연계가 가능할 수 있는 평가법임을 알 수 있다.

### 2. 수전해의 주파수 예비력성능 검증방안

본 논문에서는 수전해의 안정적인 계통연계를 위하여, Quliygrid에서 제시하는 시험방법 중 주파수 억제 예비력(FCR, Frequency Containment Reserves) 평가에 대한 시험 방안을 제시한다. 이 예비력 시험은 계통에서 변동성에 따라, 변화된 주파수에 대하여, 사용가능한 유효전력 출력의 증가 감소 출력을 통해 주파수가 일정범위 이내로 유지여부를 평가한다. 여기에서 FCR 시험 방식은 전력의 증가(+) 및 감소(-)에 대한 계단식 출력에 대한 추중시험과 연속운영 시 변화되는 계통의 출력에 대해서 지속적으로 출력을 추종하여 운전여부를 평가하는 방안으로 구성되며 이는 표 1로 나타낸다. 여기서, 이 시험방식은 현재 유럽 송전 시스템 운영자(TSO, Transmission System Operator)의 발전자원들에 대한 사전 평가방법을 기반으로 하고 있다.

[표 1] 위 내의 특성 데이터

Service	Power Range $\Delta P^*$	Time to power up $\tau_{up}$	Time to power down $\tau_{down}$
FCR	$\geq 2MW$	$\leq 60sec^{**}$	$\leq 60sec^{**}$

### 2.1. FCR 평가를 위한 전력 범위

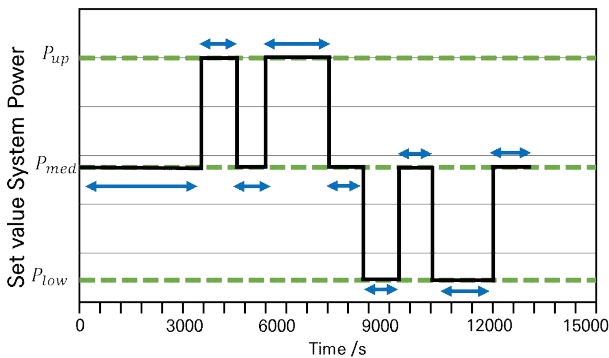
FCR의 시험평가지 수전해 시스템의 용량을 바탕으로 표 2와 같이 수전해 시스템이 운영 가능한 상한 전력과 하한 전력 그리고 중간 범위를 설정한다. 여기에서 수전해 시스템 최대 입력가능한 전력에 대하여 사전에 평가 하고, 본 시험에서는 이를 바탕으로 제어특성에 대한 출력제어량을 측정한다. 단, 수전해시스템의 정류기의 입력측 전력이 제어를 위한 매개변수로 사용되는 경우에는 BOP 측의 전력은 정류기 입력 전력과 병렬로 측정한다.

[표 2] 전력 범위

명칭	전력범위
Lower power level	$P_{low}$ (lower limit)
Upper power level	$P_{up}$ (Upper limit)
Medium Power level	$P_{med} = 0.5 * (P_{low} + P_{up})$

### 2.2 FCR 시험 평가

상기의 시험 평가를 위한 전력범위의 설정을 바탕으로 전력 기준치를 설정한 후 그림 1과 같이 Test profile에 의하여 총 10회에 걸쳐 계통과 수전해 사이의 전력과 정류기 입력측 전력에 대해서 표 3에서 제시한 방법으로 측정한다.



[그림 1] FCR 1차 시험 방법

[표 3] FCR 1차 시험 방법

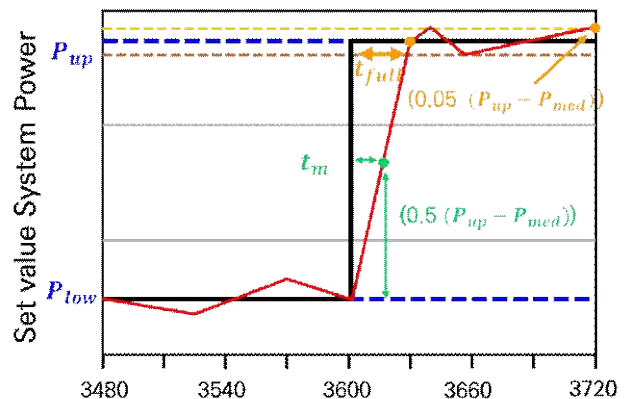
단계	time/sec	설명
1	0	기준치: $P_{med}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
2	3600	기준치: $P_{up}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
3	4530	기준치: $P_{med}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
4	5460	기준치: $P_{up}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
5	7290	기준치: $P_{med}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
6	8220	기준치: $P_{low}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
7	9150	기준치: $P_{med}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
8	10080	기준치: $P_{low}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
9	12010	기준치: $P_{med}$ 계통측 전력(t), 정류기 입력측 전력(t) 측정
10	12940	시험 종료

## 3. FCR 시험평가 검증

본 장에서는 상기에서 제시한 FCR의 시험평가에 따른 결과의 유효성을 검증하기 위하여, 출력의 상승구간과 유효구간에 대한 출력의 추종성능을 분석하는 방안을 제안한다.

### 3.1 상승구간에서 추종성능 검증

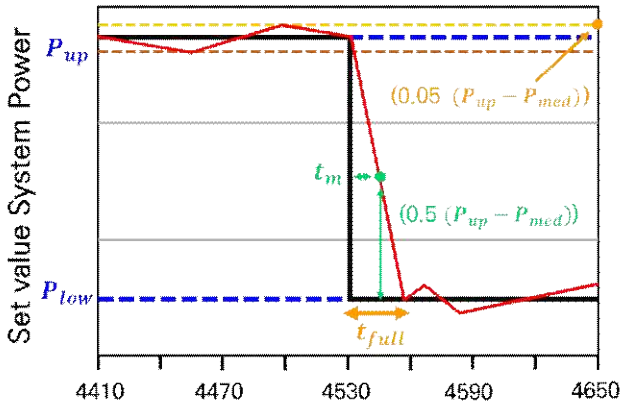
상승구간의 검증은 증가하는 출력치를 평가하는 것으로서, 지령치와 응동치의 시간차이( $t_{full}$ )와, 출력 50%에 도달하는 경우의 지령치와 응동치의 시간차이( $t_m$ )를 분석한다. 여기에서 그림 2와 같이,  $P_{med}$ 에서  $P_{up}$ 까지 상승하는 구간에서는  $(P_{med} + 0.5(P_{up} - P_{med}))$ 에 도달하는 시간을 측정하며,  $P_{low}$ 에서  $P_{med}$ 까지 상승하는 구간에서는  $(P_{med} - 0.5(P_{up} - P_{med}))$ 에 도달하는 시간을 분석한다.



[그림 2] 상승구간 응동특성 강하 평가

### 3.2 하강구간에서 추종성능 검증

하강구간의 검증은 감소되는 출력치를 평가하는 것으로서, 지령치와 응답치의 시간차이( $t_{full}$ )와 출력 50%에 도달하는 경우의 지령치와 응답치의 시간차이( $t_m$ )를 분석한다. 여기에서 그림 3과 같이,  $P_{up}$ 에서  $P_{med}$ 까지 감소하는 구간에서는 ( $P_{low} \pm 5\%(P_{low} - P_{med})$ )에 도달하는 시간을 측정하며,  $P_{med}$ 에서  $P_{low}$ 까지 감소하는 구간에서는 ( $P_{med} \pm 5\%(P_{low} - P_{med})$ )에 도달하는 시간을 분석한다.



[그림 3] 하강구간 응답특성 강하 평가

### 3.3 상승구간에서 추종성능 평가

수전해장치의 FCR 시험 및 시간특성에 대하여 분석결과를 바탕으로 FCR의 응답특성에 대한 유용성 평가는 표 4와 같이 응동에 따른 시간차와 최대편차 그리고 지령에 따른 초기 응답시간에 대하여, TSO가 요구하는 범위를 만족여부를 평가한다. 여기서, TSO는 국내에는 수전해관련 시험방법이 존재하지 않아 노르웨이와 덴마크 TSO에서 제시하는 요과를 적용한다.

[표 4] 평가지표 정의

평가지표	명칭	TSO's 요구조건
응동 시간	$t_m$	$\leq 15 \text{ sec}^*$
	$t_{full}$	$\leq 30 \text{ sec}$
최대 편차	$\Delta_{max}$	$\leq 0.05 (P_{med} - P_{low})$
Off-set	$t_{init}$	$\leq 1.5 \text{ sec}^{**}$

## 4. 결론

본 논문에서는 신재생에너지가 도입된 배전계통에서 유연자원으로 활용될 수 있는 수전해시스템에 대하여 전력 변동성에 응동하여 제어특성을 평가하는 성능검증방안을 제안하였다. 이 성능 검증은 예비력 지령치에 대하여, 수전해설비가 응동하여 성능을 평가할 수 있는 방법으로서, 최소 출력에서 최대전력까지의 응답

시간 및 목표량에 대한 정확성을 평가방안을 제시하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 평가방법이 수전해설비를 계통에 도입하여, 안정적으로 운용할 수 있는 방안을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] Judith A. Jeevarajan, Tapesh Joshi, Mohammad Parhizi, Taina Rauhala, and Daniel Juarez-Robles ACS Energy Letters 20227(8), 2725-2733
- [2] S. Y. Jang, J. D. Kim, D M. Kim, J. M. Park, Y. S. So "Introductions for Foreign PEM Systems and It's Field Test Plan Linked to Renewable Energy in Jeju Island", Journal of the Korean Institute of Gas, KIGAS Vol. 27, No. 1, pp 33~37, 2023