

VPP의 안정적인 운영을 위한 신재생발전기 유효전력 제어 평가 방법에 대한 분석

남양현*, 김병기*, 유경상*, 김대진*, 윤승진*, 김찬수*, 최미곤*

*한국에너지기술연구원 전력시스템연구실

e-mail: yh_nam@kier.re.kr

Analysis of Active Power Control Evaluation Methods for Stable Operation of VPP with Renewable Generators

Yang-Hyun Nam*, Byung-Ki Kim*, Kyung-Sang Ryu*, Dae-Jin Kim*, Seung-Jin
Yoon*, ChanSu Kim*, Mi-Gon Choi*

*Electric Power System Research Laboratory, Korea Institute of Energy Research

요 약

최근 전 세계적으로 기후변화 대응 및 에너지 전환 정책이 강화됨에 따라, 신재생에너지 보급이 빠르게 확산되고 있다. 이에 따라 전력 계통에서는 신재생에너지자원의 비중이 증가하고 있으며, 계통의 운영 안정성 확보에 새로운 과제를 제시하고 있다. 이에 대응하기 위하여, 신재생에너지자원을 하나의 발전소처럼 제어 및 운용하는 통합발전소(VPP) 기술이 제안되고 있다. VPP를 운용하기 위해서 신재생에너지 자원의 유효전력 제어는 필수적인 기능이다. 따라서 본 연구에서는 VPP 환경에서 신재생에너지자원이 수행해야 하는 유효전력 제어 성능에 대한 평가 방법을 신재생에너지 발전설비 송전계통 연계규정에 기반하여 제안한다. 또한, 실제 운용 중인 풍력발전기를 대상으로 유효전력 제어를 수행하고, 이를 통해 제안한 평가 방법의 유효성을 분석하였다.

1. 서론

전 세계적으로 기후변화 대응 및 에너지 전환 정책이 강화됨에 따라, 신재생에너지의 보급이 빠르게 확대되고 있다. 이에 따라 전력계통에서는 태양광 및 풍력과 같이 출력 변동성이 높은 자원의 비중이 증가하고 있으며, 이는 계통 운영의 유연성과 안정성 확보에 새로운 과제를 제시하고 있다. 이러한 환경 변화에 대응하기 위한 하나의 대안으로 하나의 발전소처럼 제어 및 운용하는 통합발전소(VPP)기술이 제안되고 있다. VPP는 실시간 제어, 자원 스케줄링 등 핵심 기능을 통해 계통의 유연성과 안정성을 확보하는 역할을 수행한다. 그러나 VPP의 안정적인 운영을 위해서는 구성 자원의 유효전력 제어 능력이 중요한 요소로 작용한다. 특히 유효전력 제어는 신재생에너지의 계통 연계 시 과도한 출력이나 전력 불균형을 방지하는 데 필수적인 기능이다. 따라서 본 연구에서는 VPP 환경에서 신재생에너지자원이 수행해야 하는 유효전력 제어 성능에 대한 평가 방법을 신재생에너지 발전설비 송전계통 연계규정에 기반하여 제안한다. 또한, 실제 운용 중인 풍력발전기를 대상으로 유효전력 제어를 수행하고, 이를 통해 제안한 평가 방법의 유효성을 분석하였다.

2. VPP기반 신재생발전기 유효전력 제어 특성 분석

2.1 유효전력제어 기능시험

VPP는 다양한 신재생에너지자원을 통합하여 하나의 발전소처럼 제어·운용하는 시스템으로, 실시간 유효전력 제어 기능이 핵심 역할을 수행한다. VPP 환경에서 신재생에너지의 유효전력제어 기능시험을 검증하기 위한 시험 방법을 제시한다. 시험은 교류 전원을 정격 전압 및 주파수로 운전한 상태에서, 외부 통신 인터페이스를 통해 인버터의 유효전력 제어값을 100%, 80%, 60%, 40%, 20%로 설정하여 특성분석을 수행한다. 설정된 제어값에 따라 인버터의 유효전력 출력이 $\pm 2.5\%$ 이내 오차로 추종하고, 추종시간이 10초 이내일 경우 적합 판정을 내린다.

2.2 인버터 정지 기동 제어 시험

VPP 시스템 내에서 신재생에너지자원의 통합 제어 신뢰성을 확보하고, 계통 운영 중 비상 정지 및 복구 운용 시 요구되는 응답성과 통신 안정성을 검증하기 위해 인버터 정지 기동 제어시험을 수행한다. 시험은 교류 전원을 정격 전압 및 주파수로 운전한 상태에서, 외부 통신 인터페이스를 통해 인버터의 유효전력 제어값(정격출력 100%, 역률 100%)을 설정한 후 특성분석을 수행하였다. 이후 외부 통신 명령을 통해 인버터를 정지시키고, 통신 성공 메시지 및 유효전력 출력이 5초 이내에 확인되는 경우를 기준으로 정지 제어의 성공 여부를 판단하였다.

또한 인버터 정지 후, 외부 통신 인터페이스를 통해 기동 명령을

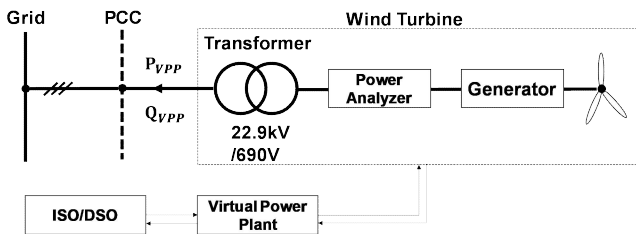
송신하고, 기동 성공 메시지 및 유효전력 출력이 70초 이내에 확인되면 기동 제어가 정상적으로 수행된 것으로 간주하였다.

2.3 주파수-유효전력제어 기능시험

신재생에너지의 주파수 응답 특성을 정량적으로 분석하고, 이를 기반으로 VPP 통합운영 시 계통 주파수 안정성 확보를 위한 전략 수립이 가능함을 검증하기 위하여 주파수-유효전력 제어 기능 시험을 수행한다. 시험은 교류 전원을 정격 전압 및 주파수 (60.0Hz)로 운전한 상태에서, 외부 통신 인터페이스를 통해 인버터의 유효전력 제어값을 100%, 역률 100%로 설정한 후 수행하였다. 이후 전원 주파수를 60.0Hz, 60.5Hz, 61.0Hz, 61.5Hz로 단계적으로 변경하면서 인버터의 유효전력, 무효전력, 역률 변화를 측정하였다. 시험 기준은 주파수 변화에 따른 유효전력 출력이 $\pm 2.5\%$ 오차 이내를 유지하고, 설정 변경 후 10초 이내에 추종을 완료할 것을 요구한다. 주파수 변동에 따른 유효전력 제어 성능은 VPP의 실시간 계통 대응 능력과 직결되며, 계통 주파수 유지 및 변동성 완화를 위한 핵심 지표로 활용될 수 있다.

3. VPP의 신재생발전기 유효전력 제어 특성 평가

통합발전소의 신재생발전기 연계 유지 능력 특성을 평가하기 위하여, 제주특별자치도 제주시 구좌읍에 위치한 5.5MW급 풍력발전기 대상으로 실증 환경을 구성하였다. 전체시스템은 VPP 시스템, 전력분석기, 풍력발전기로 구성된다. 전력분석기는 풍력발전기의 저압측에 설치되어 발전기의 출력과 시스템 응답을 실시간으로 측정한다. 여기서 전력분석기는 풍력발전기의 전압과 전류, 풍속, 로터 회전속도, 피치각 등을 측정하여 풍력발전기의 연계 유지 여부, 응답 시간 등을 종합적으로 분석하였다. 시험 동작을 위한 시퀀스는 1분간의 평균 데이터를 취득하기 위하여 시험 단계별 2분 또는 그 이상을 지속하여 시험을 수행하였다.

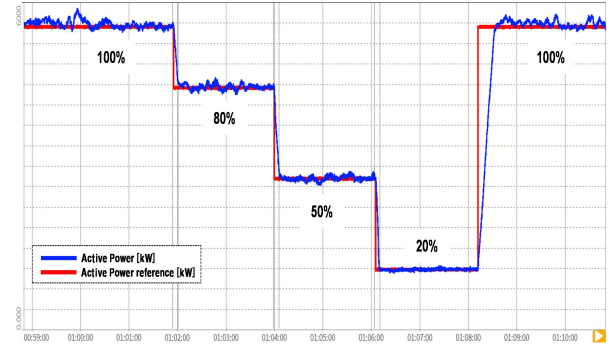


[그림 1] 실증 분석을 위한 구성도

3.1 유효전력제어 기능시험

VPP 환경에서 신재생발전기의 유효전력 제어 기능을 평가한 결과를 제시한다. 유효전력 제어 기능시험은 인버터의 유효전력 제어값을 단계적으로 변경하고, 이후 다시 100%로 복귀시키는 방식으로 수행하였다. 유효전력제어 응답특성은 그림2와 같이 각

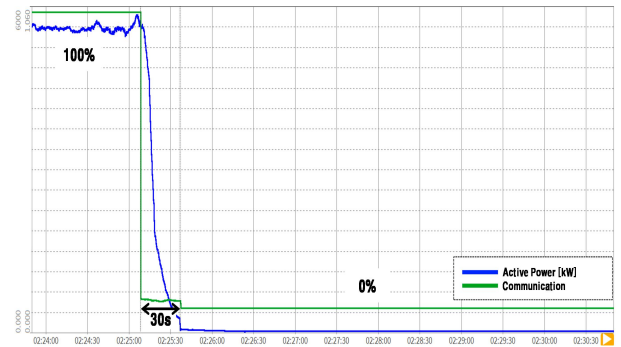
단계 변경 구간에서 유효전력 출력이 설정된 목표값에 대해 $\pm 2.5\%$ 이내 오차 범위를 유지하였으며, 추종시간 또한 10초 이내로 기준을 만족하는 것으로 나타났다.



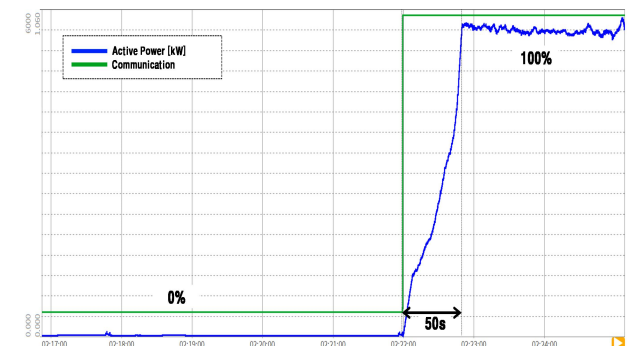
[그림 2] 유효전력제어 응답 특성

3.2 인버터 정지 기동 제어 시험

인버터 정지 기동제어 시험은 외부 통신 인터페이스를 통해 정지 명령과 기동 명령을 순차적으로 송신하고, 이에 대한 인버터 출력 응답 특성을 측정하는 방식으로 수행하였다. 인버터 정지 제어 응답특성은 그림 3과 같이, 정지 명령 송신 후 약 30s 이내에 유효전력 출력이 0%로 수렴하였으며, 과도 현상 없이 안정적으로 출력이 차단되었다. 또한 인버터 기동제어 응답특성은 그림 4와 같이 기동 명령 송신 후 약 50초 이내에 인버터 출력이 목표 출력값(100%)에 도달하는 것이 확인되었다. 기동 과정에서 과도 특성없이 안정적인 출력 상승 특성을 나타내었다.



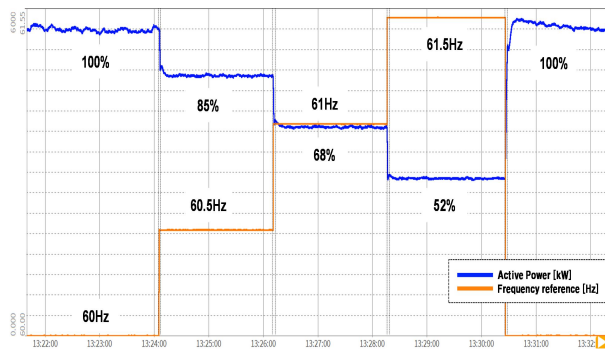
[그림 3] 인버터 정지 제어 응답 특성



[그림 4] 인버터 기동 제어 응답 특성

3.3 주파수-유효전력 제어 기능시험

VPP 환경에서 신재생발전기 인버터의 주파수-유효전력 제어 성능을 평가한 결과를 제시한다. 주파수-유효전력 제어 시험은 인버터를 정격 전압, 정격 주파수(60.0Hz)로 운전한 상태에서, 외부 주파수 기준 신호를 60.0Hz, 60.5Hz, 61.0Hz, 61.5Hz로 단계적으로 변화시키며 유효전력 응답 특성을 측정하였다. 그림 5와 같이, 주파수 상승에 따라 인버터 유효전력 출력이 목표값에 맞추어 단계적으로 감소하였다. 각 주파수 구간에서 유효전력 출력 오차는 $\pm 2.5\%$ 이내로 유지되었으며, 각 단계별 제어 변경 후 10초 이내에 안정적인 추종을 완료하는 응답 특성을 나타내었다.



[그림 5] 주파수-유효전력 제어 응답 특성

4. 결론

본 연구에서는 VPP 환경에서 신재생발전기의 유효전력 제어 성능을 평가하였다. 유효전력 제어, 인버터 정지·기동, 주파수-유효전력 제어 시험을 통해 신재생에너지 자원이 외부 통신 명령에 안정적이고 신속하게 응답하는 특성을 확인하였다. 시험 결과는 모든 평가 기준을 만족하였으며, VPP 통합 운영 시 계통 안정성과 신뢰성 확보에 기여할 수 있음을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00422151)

참고문헌

- [1] 한국전력공사, “신재생발전기 송전계통연계 기술기준”, 2월, 2024년.
- [2] 김병기, 유경상, 남양현, 윤승진, 김찬수, 이현장, 김대진, “융합형 VPP의 안정적인 운영을 위한 유연자원의 제어전략”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 7월, 2024년.