

발전제약을 고려한 VPP 에너지 최적화 연구

윤승진*, 김병기*, 유경상*, 김찬수*, 남양현*, 김대진*^{*},
*한국에너지기술연구원 전력시스템연구실
sjyoon@kier.re.kr

Optimal Scheduling of Virtual Power Plant Considering the Power Curtailment

Seung-Jin Yoon*, Byungki Kim*, Kyung-Sang Ryu*, Chan-Soo Kim*, Yang-Hyun Nam*, and Dae-Jin Kim1*^{*}

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

요약

최근 에너지산업은 탄소배출량을 줄이는 것과 동시에 지속하고 효율적인 발전이 가능한 재생에너지로의 전환을 목표로 하고 있다. 하지만 관리되지 않는 재생에너지 발전량 증가는 재생에너지 간헐성 문제, 경제적 타당성만을 기반으로 하는 발전사업자로 인해 계통을 관리하는 계통운영자에게 부담을 주게 되었고 배전 시스템에 전압 불균형과 주파수 불안정 같은 문제를 발생시키고 있다. 이에 따라 계통운영자는 계통의 안정성 문제를 해결하는 방법의 하나로 관리되지 않는 재생 에너지를 하나로 통합하여 관리할 수 있는 VPP 운영을 지원하고 있다. 대표적인 지원책 중의 하나는 발전량 정확도에 대한 인센티브 제도로 VPP 운영자는 하루 전 계통운영자에게 발전량에 대한 예측치를 통보하고 당일 발전량에 대한 정확도를 토대로 인센티브를 지급받는 정책이다. 이러한 인센티브 방식은 재생에너지 발전량 비중이 전체 발전량 비중 보다 낮을 경우에 효과적이었으나 최근 재생에너지 발전량 비중이 높아지면서 좀 더 고도화된 발전계약(출력량 감소지 시, 예측 발전량 초과 시 패널티 요금 부과)을 부과하여 재생에너지의 간헐성을 문제를 해결하려 하고 있다. 이에 대응하고자 본 논문은 재생에너지의 불확실성과 발전제약을 고려하는 것과 동시에 VPP의 수익을 증가시키기 위한 운영 방법론과 최적 운영 모델을 제안한다. 제안된 모델은 VPP 발전제약을 고려한 수익극대화를 위해 MILP(Mixed-integer Linear Programming) 기법을 사용하여 VPP 운영계획을 수립하고 실시간으로 VPP 내 ESS 자원 출력을 조정한다.

1. 서론

최근 에너지산업은 탄소배출량을 줄이는 것과 동시에 지속 가능하면서도 효율적인 발전이 가능한 재생에너지로의 전환을 목표로 하고 있다. 하지만 관리되지 않는 재생에너지 발전량 증가로 재생에너지의 간헐성 문제, 경제적 타당성만을 기반으로 하는 발전사업자로 인해 계통의 불안정성(전압 불평형, 주파수 변동, 계통의 단락전류, 고조파 등)이 점차 증가하고 있다[1]. 이에 따라 계통운영자는 계통의 안정성 문제를 해결하기 위해 대규모 재생에너지 발전사업자에게 관리되지 않는 재생에너지를 하나로 통합하여 관리할 수 있도록 VPP를 운영할 것을 권장하고 있다.

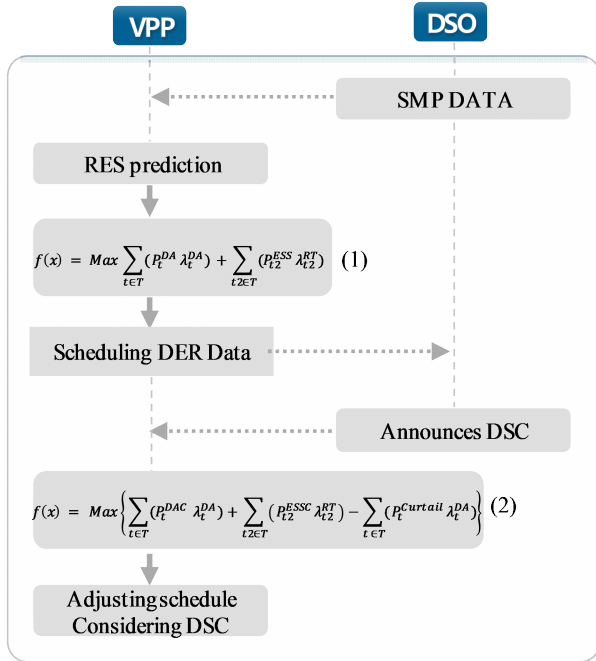
현재 국내의 VPP 운영방식은 VPP 플랫폼 운영자가 하루 전 발전량을 스케줄링하고 이를 계통운영자에게 보고하게 되며 발전사업자는 하루 전 발전량 정확도에 따라 추가적인 인센티브를 지급받게 된다. 이러한 단순 운영 방식은 VPP 플랫폼의 유연성을 저하시키며 다양한 전력시장(에너지 · 용량 · 보조서비스)참여가 불가능 하다[2]. 이를 해결하기 위해 국내에서는 23년 6월 분산에너지 활성화 특별법이 제정되었고 현

재의 전력시장에 대한 변동이 예정되어 있다. 이에 따라 신 전력시장에서는 VPP 운영자에게 발전량 스케줄링 오차에 따른 인센티브를 지급함과 동시에 발전 제약(출력량 감소지시, 실시간 입찰 시장, 예측 발전량 초과시 패널티 요금 부과 등)을 부과하게 될 예정이다.

이러한 전력시장 변화에 대응하고자 본 논문은 재생에너지의 불확실성과 발전제약을 고려하는 것과 동시에 VPP의 수익을 증가시킬 수 있는 운영 방법론과 최적 운영 모델을 제안한다. 제안하는 최적 운영 모델의 흐름은 다음과 같다. VPP 플랫폼 운영자는 하루 전 재생에너지 발전량 예측을 계통운영자에게 제출한다. 계통운영자는 해당 발전량이 전압 안정도 조건을 충족하지 않을 시 VPP 운영자에게 최적의 출력 제한량을 전달한다. VPP 플랫폼 운영자는 출력 제한량을 전달 받은 후 재생에너지 발전량을 최대한으로 유지하는 방향으로 ESS 충방전 용량을 스케줄링 한다. 그 후 VPP 플랫폼 운영자는 변경된 스케줄링을 다시 제출하고 계통운영자는 전압 안정도 조건을 충족할 때까지 출력 제한량을 갱신하는 구조이다. 제안된 운영 기법의 스케줄링을 위해 MILP(Mixed-integer Linear Programming)기반의 최적화 기법이 사용되

며 ESS의 보호를 위해 출력량, SOC 제약조건 등이 추가된다.

2. 스케줄링 알고리즘



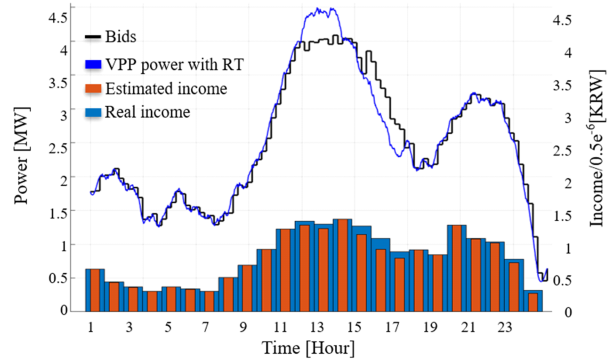
[그림 1] 발전제약을 고려한 VPP 운영 Sequence

<그림 1>는 제안된 최적화 기법의 블록도를 나타낸다. 하루 전 재생에너지 발전량을 예측하고 이를 토대로 계통운영자에게 발전량을 제출(1)하며 계통운영자는 해당 발전량이 전압 안정도 조건을 충족하지 않을 시 VPP 운영자에게 출력 제한량을 전달한다. VPP 플랫폼 운영자는 출력 제한량을 전달받은 후 재생에너지 발전량을 최대한으로 유지하는 방향으로 ESS 충방전 용량을 스케줄링한다(2). 여기서 P_t^{DA} , λ_t^{DA} 는 하루 전 VPP 예측 발전량과 SMP를 나타내며 P_{t2}^{ESS} , $P_t^{Curtail}$ 은 각각 ESS 발전량과 발전 제한량을 나타낸다.

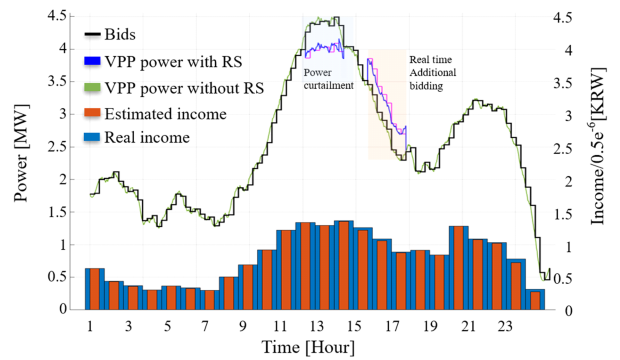
3. 시뮬레이션 결과

제안된 기법의 성능을 입증하기 위해 MATLAB 시뮬레이션이 수행되었다. 발전제약에 따른 제안된 기법의 스케줄링 효과를 확인하기 위해 발전량 Peak 시간대인 11:30분 ~ 13:15분 동안 0.4mw/h의 발전량 감축지시 14:45분 ~ 16:30분 동안 0.4mw/h 추가 입찰이 가능하도록 시나리오가 설계되었다. <그림 2>에서 11:30분 ~ 13:15분 사이 입찰량보다 발전량이 높은 상태로 과잉 발전으로 인한 패널티로 예측 수익보다 실제 수익이 감소되는 것을 확인할 수 있다. <그림 3>은 MILP 기법과 ESS를 사용하여 VPP 발전량을 발전제약에 따라 새롭게 스케줄링한 시뮬레이션 결과 과잉발전이 이루어진 11:30분 ~ 13:15분 동안 ESS를 사용하여 과잉 발전량을

충전하고 추가 입찰 가능한 14:45분 ~ 16:30분 구간에서 방전을 통해 수익률을 증가시키는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] 발전제약을 고려하여 많은 VPP 발전량 및 발전량 수익 시뮬레이션 결과 과형



[그림 3] 제안된 MILP 알고리즘이 사용하여 스케줄링 된 VPP 발전량 및 발전량 수익의 시뮬레이션 결과 과형

3. 결론

본 논문에서는 향후 전력시장 변동에 따른 VPP 운영 솔루션으로 MILP 기반 최적운영모델을 제안하였다. VPP 운영 경제성 향상을 위해 SMP기반의 비용함수를 설계하였으며 제안된 기법은 계통운영자의 발전제약에 따라 효과적으로 VPP 발전량을 스케줄링 하여 VPP 사업자의 이득을 극대화시킬 수 있는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 2022303002110)
본 연구는 2024년도 한국에너지기술연구원의 주요사업 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. C4-2422-01)

참고문헌

- [1] M. Malinowski and S. Bernet, "Optimal Scheduling of Virtual Power Plant with Flexibility Margin Considering Demand Response and Uncertainties", MDPI Energies, vol. 16, pp. 5833, 2023.
- [2] S. Y. Park, S. W. Park, and S. U. Son, "Optimal VPP Operation Considering Network Constraint Uncertainty of DSO", IEEE access, vol. 11, pp. 8523, 2023