

게임이론 기반 에너지인터넷의 성능 분석

*선영규 *심이사 *김수현 **황유민 *김진영

*광운대학교 전자융합공학과 ** 웨스턴온타리오대학교

yakrkr@kw.ac.kr, dltkr34@kw.ac.kr, kimssoogus@kw.ac.kr, yoomin2046@naver.com,
jinyoung@kw.ac.kr

Performance of Energy Internet Based on Game Theory

*Sun, Young-Ghyu *Sim, Isaac *Kim, Soo Hyun **Hwang, Yu Min *Kim, Jin Young

*Department of Electronic Convergence Engineering, Kwangwoon University

**Western Ontario University, Canada

요약

이 논문은 에너지인터넷의 실시간 가격 수요 반응 시스템에서 금전적 이익 극대화를 위해 두 명의 플레이어가 있는 Stackelberg 게임 기반 진화 게임을 연구한다. 우리는 두 명의 플레이어인 발전자와 에너지 사용자의 통일된 이익을 극대화하는 대신 발전자와 에너지 사용자의 이익을 극대화하는 에너지 전략을 적용한다. 실시간 가격 수요 반응 시스템에서 적용한 에너지 전략을 시뮬레이션하였고 시뮬레이션 결과, 적용된 에너지 전략이 기존의 방식에 비해 발전자의 수익을 45%까지 효과적으로 개선하고 에너지 사용자의 전기 요금을 평균 15.6% 줄일 수 있음을 보여준다. 또한, 제한한 에너지 전략이 수요반응의 목표 중 하나인 피크 대 평균 비율 감소의 안정화에 기여할 수 있음을 확인했다.

1. 서론

에너지 인터넷은 고급 통신 네트워크와 지능형 제어 가능 전기 장치 또는 에너지 사용자 를 통해 분산 제어 및 분산 에너지 관리를 할 수 있다 [1]. 수요반응은 전기 가격 변동이나 인센티브 지불에 따른 사용자의 에너지 사용량 변화로 정의되며 [2] 에너지 사용자는 도매 시장 가격이 높거나 전력 소비가 최대일 때 에너지 소비를 줄인다. 이 가격 기반 수요반응 프로그램은 사용자와 서비스 제공 업체 간의 지속적인 상호 작용을 통해 최적으로 구현될 수 있다. 사용자는 시간에 따른 다양한 전기 가격을 고려하여 전기 사용량을 조정해야 하며, 서비스 제공 업체는 발전량에 따라 전기 가격을 적절히 조정하여 사용자가 시간에 따라 전기를 고르게 사용하도록 동기를 부여해야 한다 [3].

과거에 실시간 가격 기반 수요반응 시스템에서 에너지 관리를 위한 게임 이론 모델링을 기반으로 하는 관련 연구가 수행되었다 [4, 5]. 과거 수행된 연구에서는 발전자의 통일된 이익과 요구를 기반으로 최적화한다. 현실적인 문제를 고려해보았을 때, 발전자의 금전적 이익과 수요를 각각 극대화하는 최적화 방법론의 연구가 필요하다[6]. 이러한 연구의 필요에 따라 본 논문에서는 Stackelberg 게임 기반 진화 게임을 연구하고 발전자와 에너지 사용자의 금전적 이익을 극대화하는 에너지 전략을 연구한다.

2. 본론

실시간 가격 기반 수요반응 시스템에서 발전자의 금전적 이익은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$g_t = \frac{R_t(p_t|P_{k,t})}{M_t(P_{i,t}, p_t)} \quad (1)$$

여기서, g_t 는 발전자의 금전적 이익, R_t 는 발전자의 실제 이익, M_t 는 발전자의 최대 달성 가능 이익, $P_{k,t}$ 는 k번째 에너지 사용자의 전기 사용량, p_t 는 전기가격이다.

실시간 가격 기반 수요반응 시스템에서 에너지 사용자의 금전적 이익은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$u_t = \sum_{k=1}^N u_t(P_{k,t}|p_t) \quad (2)$$

여기서, u_t 는 에너지 사용자의 총 전기 사용 비용, $P_{k,t}$ 는 k번째 에너지 사용자의 전기 사용량, p_t 는 전기가격이다.

발전자의 금전적 이익과 에너지 사용자의 금전적 이익이 극대화 되기 위해서는 수식 3과 수식 4를 만족해야되며 두 수식이 만족되도록 Stackelberg 게임 이론을 적용한다.

$$\max_{P_{i,t}, p_t} g_t = \frac{R_t(p_t|P_{k,t})}{M_t(P_{i,t}, p_t)} \quad (3)$$

$$\min_{P_{k,t}} u_t = \sum_{k=1}^N u_t(P_{k,t}|p_t) \quad (4)$$

Stackelberg 게임 기반의 에너지 전략을 실시간 가격 수요 반응 시스템에서 시뮬레이션을 진행한다.

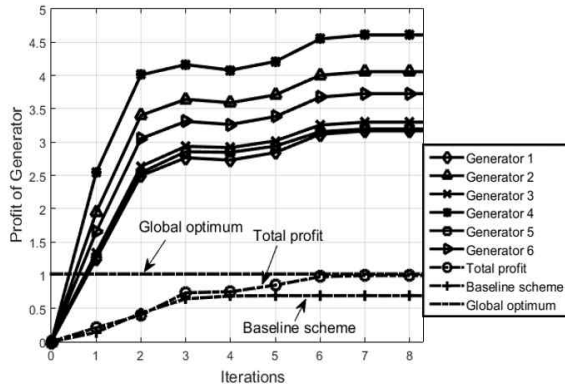


그림 1. 시뮬레이션 결과.

시뮬레이션 결과가 발전자와 에너지 사용자의 금전적 이익을 극대화하는 에너지 전략을 적용하면 발전자의 수익이 효과적으로 개선된다는 것을 보여준다.

3 결론

본 논문에서는 에너지인터넷의 실시간 가격 수요반응 시스템에서 발전자와 에너지 사용자의 금전적 이익을 극대화하기 위해 Stackelberg 게임 이론 기반의 에너지 전략을 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 발전자의 수익이 개선되는 것을 확인하였고 수용반응 시스템의 목표 중 하나인 피크 대 평균 비율 감소의 안정화에 기여할 수 있다는 것도 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2019R1F1A1058266)

참고 문헌

- [1] P.Siano, "Demand response and smart grids-A survey," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 461 - 478, Feb. 2014.
- [2] A. Zakariazadeh, S. Jadid and P. Siano, "Smart microgrid energy and reserve scheduling with demand response using stochastic optimization," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.* vol. 63, pp. 523 - 5338, Dec. 2014.
- [3] R. Deng, Z. yang, M. Y. Chow, and J. Che, "A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches," *IEEE Access*, vol. 11, no. 3, pp. 570-582, June 2015.
- [4] W. Tushar, C. Yuen, D. B. Smith and H. V. Poor, "Price discrimination for energy trading in smart grid: A game theoretic approach," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 4, pp. 1790 - 1801,

July 2017.

[5] M. Ye and G. Hu, "Game design and analysis for price-based demand response: an aggregate game approach," *IEEE Trans. Cybern.* vol. 47, no. 3, pp. 720 - 730, Mar. 2017.

[6] S. A. H. Soliman and A. A. H. Mantawy, *Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems*, Springer, Germany, 2011.