

멀티에이전트 시스템 기반 독립운전 마이크로그리드 운용을 위한 CEA 규칙을 이용한 부하 차단 기법

김학만
인천대학교 전기공학과
e-mail : hmkim@incheon.ac.kr

A Load Shedding Scheme using CEA Rule for Islanded Microgrid Operation based on Multiagent System

Hak-Man Kim
Dept. of Electrical Engineering, University of Incheon

요 약

마이크로그리드는 주로 신재생 전원으로 구성되는 소규모 전력시스템으로 그 관심이 고조되고 있다. 최근 멀티에이전트 기반의 마이크로그리드의 운용 및 제어 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 전력시스템과 연계되지 않는 독립운전의 경우는 상용주파수를 유지하기 위해서 전력의 공급과 부하의 균형을 유지시켜야 하며, 특히 전력공급이 부족한 경우는 강제적으로 전력의 부하를 차단하여야 한다. 본 논문에서는 멀티에이전트 시스템 기반의 독립운전을 하는 마이크로그리드 운용을 위한 강제적인 부하 차단을 위해서 파산문제(bankruptcy problem)와 CEA(constrained equal awards) 규칙에 근거하여 부하 차단의 기법을 제안하고 이에 대해서 그 활용 가능성을 검토하고자 한다.

1. 서론

최근 기후변화와 관련하여 신재생 전원 도입에 대해서 관심이 고조되고 있다. 수용가 및 배전시스템 측면에서 신재생 전원을 주 전원으로 하는 소규모 전력시스템인 마이크로그리드의 도입이 가시화되고 있으며, 마이크로그리드의 자율적이고 자동적인 제어 및 운용을 위한 멀티에이전트 시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다 [1-4].

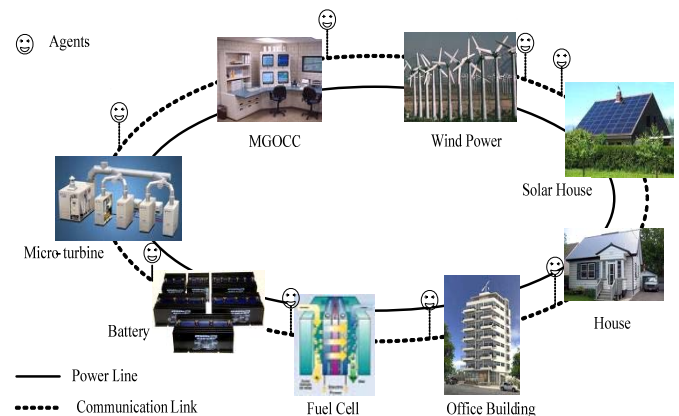
마이크로그리드는 전력시스템과 연계하여 운전되는 시스템연계 운전모드와 전력시스템과 연계되지 않고 단독으로 운전되는 독립 운전모드로 크게 2 가지 운전모드로 운전된다. 독립운전의 경우는 주파수를 유지하기 위하여 마이크로그리드 내의 전력공급과 부하의 균형을 유지하여야 하는데, 특히 전력공급이 부족한 경우 강제적으로 전력부하를 줄여야 하는데, 일반적인 방법은 중요하지 않는 부하 순으로 부하를 차단한다.

본 논문에서는 멀티에이전트 시스템 기반의 독립운전 마이크로그리드 운용 중 전력공급이 부족한 경우에 대해서 가장 중요 부하를 제외한 그 외의 부하의 차단에 대해서 에이전트의 자율적인 부하차단 알고리즘으로 금융, 통신 분야 등에 많이 활용되는 파산문제(bankruptcy problem)의 관점에서 부하차단을 모델링하고 파산문제에 적용되는 규칙 중 CEA(constrained equal awards) 규칙에 의거하여 부하를 차단하는 기법을 제안한다. 그리고 제시한 CEA 규칙을 이용한 부하차단 기법에 대한 적용가능성을 검토하고자 한다.

2. 멀티에이전트 기반 독립운전 마이크로그리드 운용

마이크로그리드는 태양광발전, 풍력발전 등의 신재생 전원과 연료전지, 마이크로터빈 열병합 발전 등 신전원으로 구성되는 분산전원(distributed source)을 주 전력공급원으로 하며, 전력저장장치와 가정, 빌딩, 학교, 병원 등의 수용가의 부하로 구성된 소규모의 청정 전력시스템이다[5].

멀티에이전트 기반의 독립운전 마이크로그리드의 개념은 그림 1[4]과 같다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이 각 에이전트들이 마이크로그리드 내의 전원, 저장장치 및 부하를 운용 및 제어를 담당하는 분산시스템으로 멀티에이전트 시스템을 구성하여 자율적이고 자동적으로 마이크로그리드를 운용 및 제어를 수행한다.



(그림 1) 멀티에이전트 시스템 기반 마이크로그리드

본 논문에서는 멀티에이전트 시스템(Ag)은 다음과 같이 정의되며, Ag_{MGOC} 는 마이크로그리드의 전체 운용을 담당하는 에이전트, Ag_{DG} 는 분산전원을 담당하는 에이전트 집합, Ag_{DS} 저장장치를 담당하는 에이전트 집합, Ag_L 은 부하를 담당하는 에이전트의 집합으로 정의된다.

$$Ag = \{Ag_{MGOC}, Ag_L, Ag_{DG}, Ag_{DS}\} \quad (1)$$

3. CEA 규칙을 이용한 부하차단 기법

파산문제[6]는 부족한 자산을 배분하는 방법으로써 금융, 경제, 통신 등 다양한 분야에서 적용되는 문제로 본 논문에서는 부족한 전력공급을 요구하는 부하들에 대해서 부하를 줄이는 부하차단을 파산문제로 정의하면 다음과 같다. 즉, 부하차단 문제는 (lc, Pa) 의 관계로 정의되며 여기서 Pa 는 가용한 전력공급양이며 $lc = (lc_1, \dots, lc_n)$ 는 부하의 벡터이다.

$$0 \leq lc_i \leq \dots \leq lc_n \quad \text{and} \quad 0 \leq Pa \leq lc_1 + \dots + lc_n \quad (2)$$

CEA 규칙은 파산문제에 적용되는 규칙 중 한가지로 CEA 규칙을 적용하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CEA_i(lc, Pa) = la^* = \min \{lc_i, \lambda\}, \quad (3)$$

where λ is chosen so that $\sum \min \{lc_i, \lambda\} = Pa$.

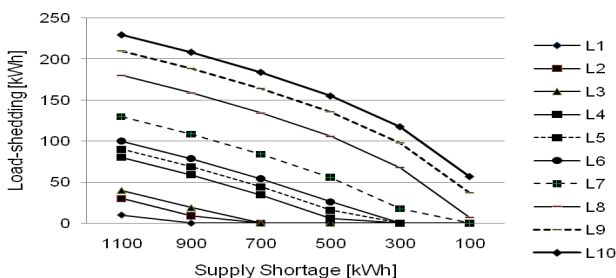
그리고 각 부하에 할당되는 전력의 벡터(la^*) 는 식 (4)와 같이 정의되며, 최종적으로 식 (5)를 이용하여 부하차단량 벡터(ls^*) 을 결정한다.

$$la^* = (la_1^*, \dots, la_n^*) \quad (4)$$

$$ls^* = (ls_1^*, \dots, ls_n^*) = lc - la^* \quad (5)$$

4. 테스트 및 고찰

제안한 CEA 규칙을 이용한 부하차단 기법의 적용 가능성을 검토하기 위하여 1 개의 MGOCC 에이전트, 3 개의 DG 에이전트, 1 개의 DS 에이전트 및 10 개의 부하 에이전트 기반의 마이크로그리드를 구성하였다 [7-9]. 그리고 전력부족이 1,100 kW 에서 100 kW 까지 200 kW 씩 줄인 6 가지의 조건에 대해서 제안한 부하차단 기법을 적용한 멀티에이전트 시스템에 의한 운용결과를 검토하였다. 그림 2 는 테스트 결과를 나타낸다.



(그림 2) 멀티에이전트 시스템에 의한 부하차단결과

그림 2 의 테스트 결과로부터 CEA 규칙을 이용한 부하차단 기법을 적용한 결과 전력공급부족이 적은 경우는 많은 부하를 요구하는 부하들에 대해서 부하차단이 이루어지며 전력공급부족이 큰 경우는 전체적인 부하들에 부하차단이 할당되는 특징이 있음을 확인할 수 있다. 그리고 알고리즘의 두 개의 for 루프의 사이즈 M, N 과 관련하여 부하 수에 따른 계산시간은 $O(M) * O(N)$ 의 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 멀티에이전트 시스템 기반의 독립운전 마이크로그리드의 운용 중 마이크로그리드의 전력공급의 부족한 경우에 불가피한 전력차단을 파산문제로 접근하였으며, 파산문제의 많이 이용되는 규칙 중 한 가지인 CEA 규칙을 이용한 전력차단 기법을 제시하였으며, 테스트 마이크로그리드에서 그 활용가능성을 검토하였다.

추후 연구로써는 멀티에이전트 시스템 기반의 마이크로그리드에 적용하기 위한 세부연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] A. L. Dimeas, and N. D. Hatziargyriou, "Operation of a Multiagent System for Microgrid Control," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 20, N0. 3, pp.1447-1455, Aug. 2005.
- [2] H.-M. Kim, and T. Kinoshita, "A Multiagent System for Microgrid Operation in the Grid-interconnected Mode", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 5 No. 2, pp.246-254, June 2010
- [3] H.-M. Kim, T. Kinoshita, Y. Lim, and T.-H. Kim, "A Bankruptcy Problem Approach to Load-shedding in Multiagent-based Microgrid Operation", Sensors, ISSN: 1424-8220, Vol. 10, Issue 10, pp.8888-8898, October 2010
- [4] H.-M. Kim, T. Kinoshita, and M.-C. Shin, "A Multiagent System for Autonomous Operation of Islanded Microgrids Based on a Power Market Environment", Energies, ISSN: 1996-1073, Vol. 3, Issue 12, pp.1972-1990, December 2010.
- [5] N. Hatziargyriou, H. Asano, H. R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 5, Issue 4, pp. 78-94, July-Aug. 2007.
- [6] W. Thomson, "Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey," Mathematical social science, vol.45, pp.249-297, 2003.
- [7] T. Kinoshita, and K. Sugawara, "ADIPS Framework for Flexible Distributed Systems," LNAI 1599, pp.18-32, 1998.
- [8] T. Uchiya, T. Maemura, L. Xiaolu, and T. Kinoshita, "Design and Implementation of Interactive Design Environment of Agent System," Proc. of 20th Int. Conf. Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2007), LNAI4570, AAAI/ACM, pp.1088-1097, 2007.
- [9] IDEA/DASH Tutorial [Online]. Available: <http://www.karic.tohoku.ac.jp/idea/index.html>.