

스마트 그리드 환경 하에서 LA사업자의 DR자원 운영 시스템 설계

김지희*, 문국현*, 김민경*, 공성배*, 조형철*, 주성관*, 오재철**
고려대*, 아이온 커뮤니케이션즈**

DR Resource Operation System by Load Aggregator in Smart Grid

Ji-Hui Kim*, Guk-Hyun Moon*, Min-Kyung Kim*, Sung-Bae Kong*, Hyung-Chul Cho*, Sung-Kwan Joo*, Jae-Chul Oh**
Korea University*, I-ON Communications Ltd.**

Abstract - 수요반응(DR : Demand Response)은 스마트 그리드(Smart Grid)를 구성하는 핵심 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 스마트 그리드 환경 하에서 ISO(Independent System Operator)의 수요자원시장에 참여함과 동시에 말단 수용가들을 대상으로 다수의 DR 프로그램을 운영하는 LA(Load Aggregator)사업자의 DR자원 운영 시스템에 대한 전반적인 개념 및 흐름에 대하여 기술하였다. 또한, 스마트 그리드 하에서 LA사업자의 DR자원 운영 시스템 설계 중 LA사업자의 DR자원 최적 배분 전략에 대한 개념 및 예시를 제시하였다.

1. 서 론

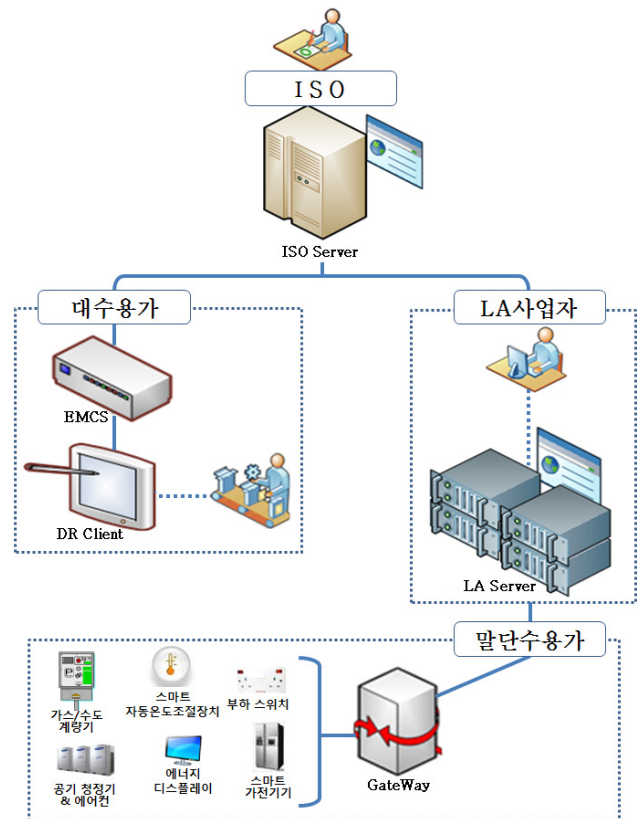
스마트 그리드란 기존의 전력망에 정보기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지 효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망이다. 스마트 그리드와 관련하여 미국, EU, 일본 등의 해외 국가들은 스마트 그리드 관련 법률 제정 및 자본 투자, 그리고 실증사업 등을 추진하고 있는 상황이다[1].

스마트 그리드를 구성하는 다양한 요소 중 수요반응은 핵심적인 개념이라 할 수 있다[2]. 전기에 대한 시간별 가치 차등에 기초한 시변 요금제 또는 시장 가격 급등이나 계통의 신뢰도 저하 시 전력 사용을 줄이기 위한 인센티브 지급 제도에 소비자가 반응하여, 자신의 평상시 소비 패턴으로부터 전력 사용을 변경하는[3] 수요반응은, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환하는 스마트 그리드의 개념과 맞물려 전력 소비 감소뿐만 아니라 에너지 효율 최적화를 도모할 수 있다. 현재 국내에서는 ISO가 수요반응과 관련하여 수요자원시장을 개설함으로써 대수용가들의 전력 소비 감소 및 피크 부하의 절감을 유도하고 있다. 하지만 ISO의 수요자원시장에 직접 참여하기 위해서는 일정 부하 이상을 보유하여야 하는 자격을 만족시켜야 한다. 따라서 ISO의 수요자원시장의 참여 자격에 미달되는 말단 수용가의 경우 LA사업자를 통하여 간접적으로 수요자원시장에 참여한다. 이 때, LA사업자는 수익 최대화를 목표로 ISO의 수요자원시장에 참여함과 동시에 말단 수용가들을 대상으로 다수의 DR 프로그램을 운영하며, 이러한 상황을 고려하여 DR 자원 운영 시스템을 설계하여야 할 것이다. 본 논문에서는 스마트 그리드 환경 하에서 ISO의 수요자원시장 참여 및 다수의 DR 프로그램을 운영하는 LA사업자의 DR자원 운영 시스템에 대한 전반적인 개념 및 흐름에 대하여 기술하였다. 또한, LA사업자의 DR자원 운영 시스템 설계 중 LA사업자의 수익 도출과 직접적인 관련이 있는 LA사업자의 DR자원 최적 배분 전략에 대한 개념 및 예시를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 DR자원 운영 시스템 개요

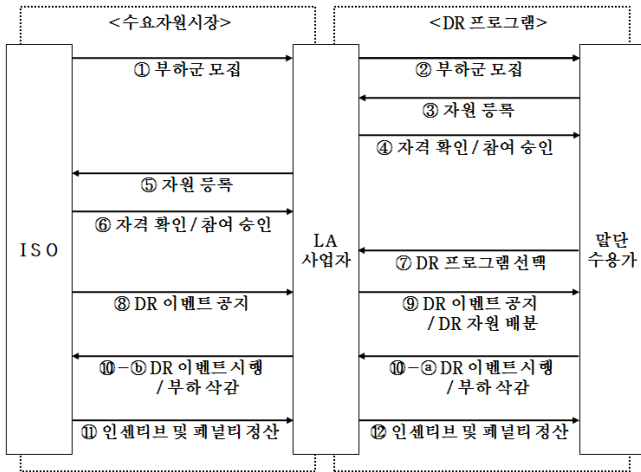
LA사업자는 다수의 말단 수용가들을 모집하여 부하관리를 대행하며 전력 시장에서 수요관리를 수행하는 주체이다. 이러한 LA사업자가 새롭게 등장함에 따라 ISO는 직접 관리하기 어려웠던 말단 수용가들을 효율적으로 통제할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 말단 수용가들 역시 LA사업자의 DR프로그램을 통해 간접적으로 ISO의 수요자원시장에 참여함으로써 자신의 부하 패턴을 변화할 수 있게 되었다. 결국 LA사업자는 ISO와 말단 수용가의 중간에 위치한 매개체 역할을 하며 ISO의 수요자원시장과 독립적으로 말단 수용가들을 대상으로 다수의 DR프로그램을 운영함으로써 수익을 도출한다[4]. 이 과정에서 LA사업자는 ISO의 수요자원시장의 효율적 참여와 말단 수용가들을 대상으로 한 DR프로그램의 효과적인 운영을 목표로 한 DR자원 운영 시스템을 설계하여야 할 것이다. 스마트 그리드 환경 하에서 DR자원 운영 시스템 개념도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> DR자원 운영 시스템 개념도

<그림 1>에서, ISO가 관리하는 ISO Server 하단에는 대수용가와 LA사업자가 존재한다. 여기서 대수용가는 EMCS(Energy Management Control System)를 통해 전기 부하를 직접 제어한다. 반면 LA사업자는 ISO와는 독자적인 LA Server를 보유하고 있으며 이를 통해 다수의 말단 수용가를 모집, 제어한다. 이 때 LA사업자는 해당 말단 수용가들에게 게이트웨이를 설치함으로써 해당 말단 수용가가 보유하고 있는 전기 부하를 DR자원화하여 ISO의 수요자원시장에 참여할 자격을 충족한다. LA사업자는 다수의 독자적인 DR 프로그램을 운영함으로써 말단 수용가를 모집, 제어하며, LA사업자는 ISO의 수요자원시장에 참여함과 동시에 말단 수용가들을 대상으로 DR프로그램을 운영함으로써 자신의 수익을 최대화한다[4].

ISO는 수요자원시장에 참여하는 대수용가 및 LA사업자들의 부하 삭감 정도에 따라 인센티브를 지급하며, 미이행한 부하 삭감량에 대해서는 페널티를 부과하기도 한다. 마찬가지로, LA사업자 또한 DR프로그램에 참여하는 말단 수용가들의 부하 삭감 정도에 따라 인센티브를 지급하며, 미이행한 부하 삭감량에 대해서 별도의 페널티를 부과한다. LA사업자 및 말단 수용가는 웹페이지와 단말기를 통하여 각각 ISO의 수요자원시장과 LA사업자의 DR프로그램에 참여하며, 이와 관련된 정보는 각 주체들에게 양방향, 실시간으로 교환된다. ISO와 LA사업자, 그리고 말단 수용가 간에 적용되는 DR자원 운영 시스템 흐름도는 <그림 2>과 같다.



<그림 2> DR자원 운영 시스템 흐름도

<그림 2>에서, ISO는 대수용가 및 LA사업자들을 대상으로 수요자원시장의 부하군 모집을 공고한다. ISO의 수요자원시장에 참여할 의사가 있는 LA사업자는 ISO의 수요자원시장 지원 자격을 만족하기 위해 말단 수용가들에게 부하군 모집 공고를 낸다. 다음으로, LA사업자의 DR 프로그램에 가입을 원하는 말단 수용가가 본인의 신상 정보 및 DR 자원과 관련된 특성을 LA사업자에 등록하면, LA사업자는 부하군 모집 공고가 종료된 후 해당 말단 수용가의 고객 자격을 확인한다. 고객 자격 확인을 끝낸 LA사업자는 모집한 말단 수용가들의 DR자원 정보를 바탕으로 '자원등록 신청서'를 작성하여 ISO에게 제출함으로써 수요자원시장에 참여할 의사를 밝히게 된다. ISO의 부하군 모집 공고가 종료된 후, ISO는 LA사업자가 제출한 DR자원의 정보를 확인한 후 수요자원시장 참여 여부를 결정한다. 만약 ISO에 의해 LA사업자의 수요자원시장 참여가 승인된다면, LA사업자는 고객 자격을 획득한 말단 수용가를 방문하여 DR자원 제어와 관련된 단말기를 설치한다. LA사업자는 단말기를 통해 말단 수용가에게 가장 적합한 DR 프로그램을 추천하며, 말단 수용가는 LA사업자가 제시하는 DR 프로그램 중 자신이 참여할 DR 프로그램을 자발적으로 선택, 가입한다. 그 다음으로 LA사업자의 DR 프로그램에 가입한 말단 수용가는 DR 프로그램에 참여할 부하를 등록함으로써 말단 수용가는 LA사업자의 DR 프로그램 가입을 완료하게 된다.

ISO는 비상 상황 시 LA사업자에게 DR 이벤트를 공지하며, LA사업자는 ISO의 DR 이벤트 정보를 바탕으로 하여 말단 수용가들에게 DR 프로그램에 대한 DR 이벤트를 공지한다. DR 이벤트 동안 말단 수용가들은 자발적 또는 강제적으로 부하를 삭감하며, 이는 곧 LA사업자가 부하를 삭감하는 것을 의미한다. ISO 및 LA사업자의 DR 이벤트가 종료된 후, ISO는 DR 이벤트에 참여한 LA사업자의 부하 삭감량에 대해 인센티브 및 페널티를 정산하며 이를 해당 LA사업자에게 공지, 지급한다. LA사업자에 대한 ISO의 인센티브 및 페널티 정산이 종료된 다음 LA사업자는 DR 프로그램의 DR 이벤트에 참여한 각 말단 수용가들의 부하 삭감량에 대해 인센티브 및 페널티를 정산한다. 해당 말단 수용가에 대한 인센티브 및 페널티를 정산한 LA사업자는 ISO와 마찬가지로 각 말단 수용가들에게 지급할 인센티브 및 페널티 내역을 공지, 지급한다.

위와 같은 흐름에 따라 LA사업자는 말단 수용가들을 대상으로 DR 프로그램을 운영함과 동시에 ISO의 수요자원시장에 참여하게 된다. 이 때, LA사업자는 ISO로부터 공지 받은 부하 삭감량을 말단 수용가들의 DR 자원에 어떻게 배분하느냐에 따라 수익 변화가 발생할 수 있으며, LA사업자는 자신의 수익을 극대화하기 위해 DR자원 최적 배분 전략을 세워야 할 것이다.

2.2 LA사업자의 DR자원 최적 배분

<그림 2>에서, LA사업자가 말단 수용가들에게 DR이벤트를 공지할 때 각 말단 수용가의 특징을 고려하여 LA사업자의 수익이 최대화가 되도록 DR자원을 최적 배분하여야 한다. 기존의 LA사업자는 말단 수용가에게 제어 대상 순위를 산정하여 부하 제어량을 배분하는 연구가 진행되었다[5] 또한, LA사업자가 말단 수용가의 제어 대상 순위를 산정하는 기준으로 각 말단 수용가의 제어 가능 시간 및 가능한 부하 제어량을 고려하였다[6]. 하지만 이는 LA사업자가 말단 수용가에게 직접부하제어(DLC : Direct Load Control) 프로그램을 적용할 경우에만 한정되어 있었을 뿐만 아니라 DR 이벤트 발생 시 각 DR자원의 최소/최대 부하 삭감량(kW), 최소 감축/정지 시간(h), Ramp-Up/Down Rate(kW/min), 과거 부하 삭감률 등을 고려하지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 LA사업자가 일반적인 DR 프로그램을 시행할 경우 DR자원의 다양한 특징을 고려한 DR자원 배분 전략을 제시할 것이다.

2.3 LA사업자의 DR자원 최적 배분 예시

LA사업자의 DR자원 운영 시스템에서, DR자원 최적 배분 예시는 다음과 같다.

ISO의 수요자원시장에서의 DR이벤트 구간이 1이라고 할 경우, 해당 DR이벤트 구간에서 LA사업자에게 공지된 부하 삭감량, 시장 가격 및 페널티는 <표 1>에서 나타내었다.

<표 1> ISO의 수요자원시장에서 DR이벤트 공지 내역

DR이벤트 구간	LA사업자에게 공지된 부하 삭감량 (kW)	시장 가격 (원/kW)	페널티 (원/kW)
1	200	1,000	5,000

또한, LA사업자의 DR 프로그램에 참여하는 2개의 말단 수용가에 대한 특징은 <표 2>와 같다.

<표 2> LA사업자의 DR프로그램에 참여하는 말단 수용가 특징

말단 수용가	DR 프로그램	인센티브 (원/kW)	최대 부하 삭감량 (kW)	최소 부하 삭감량 (kW)	과거 부하 삭감률
1	A	500	150	40	0.8
2	B	600	100	60	1.0

본 예시에서는 DR이벤트 구간이 1로 가정됨에 따라 최소 감축/정지 시간이 생략되었으며, 계산의 단순성을 고려하여 각 말단 수용가의 Ramp-Up/Down Rate 또한 생략되었다. 뿐만 아니라 말단 수용가들은 자발적으로 DR프로그램에 참여하며 DR프로그램의 페널티는 고려되지 않았다.

<표 2>에서, LA사업자가 말단 수용가들에게 지불하여야 하는 인센티브를 고려하여 DR자원 배분 전략을 세울 경우, 말단 수용가 1에게는 140kW, 말단 수용가 2에게는 60kW의 부하 삭감량을 배분할 것이다. 하지만 이 경우 과거 부하 삭감률이 더 작은 말단 수용가 1에게 더 많은 부하 삭감량이 배분되었기 때문에, LA사업자에게 공지된 ISO의 부하 삭감량을 달성할 확률이 낮아져 별도의 페널티를 지불할 확률 또한 높아진다. 따라서 LA사업자는 단순히 말단 수용가들에게 지불하는 인센티브 뿐만 아니라 말단 수용가들의 과거 부하 삭감률을 고려하여 DR자원 배분 전략을 세워야 LA사업자의 수익을 극대화 할 수 있을 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 스마트 그리드 환경 하에서 LA사업자의 DR자원 운영 시스템 설계에 대하여 연구하였다. 또한 DR자원 운영 시스템 중 LA사업자의 수익 최대화와 직접적인 관련이 있는 DR자원 최적 배분 전략에 대한 개념 및 예시를 제시하였다. 향후에는 본 논문에서 제시한 스마트 그리드 환경 하에서 LA사업자의 DR자원 운영 시스템의 개념을 수식적으로 표현할 예정이며, 특히 LA사업자의 DR자원 최적 배분 전략에 대해 체계적으로 정리함으로써 LA사업자의 수익 극대화 산정 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2010101030003C)

[참 고 문 헌]

- [1] 지식경제부, “스마트그리드 국가로드맵”, Jan. 2010
- [2] 김지희, 위영민, 주성관, 오재철, “스마트 그리드(Smart Grid) 하에서 수요반응(Demand Response)의 역할 및 필요성”, 대한전기학회 전기의 세계, Vol. 58, No. 12, pp. 42-44, Dec. 2009
- [3] FERC, “Assessment of Demand Response and Advancing Metering”, Aug. 2006
- [4] 김지희, 이종욱, 주성관, 오재철, “LA사업자 관점에서의 DR 자원 배분 전략”, 대한전기학회 하계학술대회, Jul. 2010
- [5] 정구현, 김진호, 김발호, “부하관리사업자의 부하제어량 배분 알고리즘 개발”, Trans. KIEE, Vol. 53A, No. 8, pp. 466-471, Aug. 2004
- [6] 정성운, 박종배, 신중년, 김형중, 채명석, “직접부하자원의 시간대별 부하배분 전략”, 대한전기학회 하계학술대회, Jul. 2005