

부하관리사업자의 비상시 부하제어량 배분 알고리즘 개발

정구형 김진호* 김발호
 흥익대학교 전기정보제어공학과 *기초전력공학공동연구소

Development of the Load Curtailment Allocation Algorithm for Load Aggregator in Emergency Demand Response

Chung, Koohyung Kim, Jinho* Kim, Balho
 Hongik Univ. *EESRI

Abstract - Electricity industries throughout the world are undergoing unprecedented changes. As a result, these changes lead to the separation of traditional integrated utilities and the introduction of competition in order that increase efficiency in electricity industry. Direct load control (DLC) system in competitive electricity market has a hierarchical interactive operation system, therefore, its control logic is also applied by bilateral interactive method that interchanges information related to interruptible load between operation hierarchies. Consequently, load curtailment allocation algorithm appropriate for new DLC system is required, and based on interchanged information, this algorithm should be implemented by most efficient way for each operation hierarchy.

In this paper, we develop the load curtailment allocation algorithm in an emergency for new DLC system. Especially, the optimal algorithm for load aggregator (LA) that participates in competitive electricity market as a main operator for load management is developed.

1. 서 론

최근 전세계의 전력산업은 기존의 수직통합적 독점구조에서 경쟁을 통한 효율성 증대를 목적으로 하는 시장경쟁체제로 변화하고 있다. 이러한 경쟁적 전력시장에서는 전력공급의 의무가 기존의 독점적 환경 하에서의 전력회사로부터 자신의 이익극대화를 목적으로 하는 다수의 시장참여자들에게 이전되기 때문에, 각 시장참여자는 막대한 비용과 시간을 필요로 하는 발전 및 송전설비 확충을 가능한 회피할 것으로 예상된다. 그 결과, 전력공급능력의 저하 특히, 공급예비력의 감소를 초래할 수 있으며, 공급측 자원이 적절하게 공급되지 않는 상황에서 이러한 현상이 발생할 경우 일시적으로 전력수급의 불균형 및 가격의 급등현상을 초래할 수 있다.

이와 같은 이유로, 비상시를 대비한 수요측 자원 확보의 필요성은 점차 증가하고 있으며, 특히 자원이 부족한 우리나라의 경우에는 에너지의 효율적 이용이 무엇보다도 절실하다고 할 수 있다. 향후 경쟁적 시장에서는 이러한 문제를 다양한 부하관리 프로그램 및 수요측 입찰 등을 통해 적절히 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 경쟁적 전력시장을 원활하게 운영하고 전력수급의 안정을 도모하기 위해서는 그 효과정도가 가장 높은 직접부하제어 제도를 구조개편 이후에도 적극적으로 추진할 필요가 있다.

한편, 기존의 직접부하제어 시스템은 변화된 전력시장 환경에 맞게 변화된다. 새로운 직접부하제어 시스템은 계층적 운영체계를 가지며, 제어방식도 기존과는 다른 양방향 대화형 정보교환을 통해 차단가능 부하에 대해 계층적으로 정보를 교류하는 방식을 적용한다. 이에 따라, 새로운 직접부하제어 시스템에 적합한 부하제어량 배분 알고리즘의 개발이 요구되고 있으며, 이러한 배분 알고리즘은 계층 간 교류되는 정보를 바탕으로 각 계층의 관점에서 가장 효율적인 방법으로 구현되어야 한다.

본 논문에서는 새로운 직접부하제어 시스템의 비상시 부하제어량 배분 알고리즘을 개발하고자 한다. 특히, 경쟁적 전력시장에서의 부하관리 운영주체로써 새롭게 등장하는 부하관리사업자(Load Aggregator, LA)의 최적 배분 알고리즘에 대해 기술하고자 한다. 이러한 LA 시스템의 최적 부하제어량 배분 알고리즘은 각 LA에 배분된 부하제어량을 자신이 관리하는 각 최종소비자의 차단부하 특성에 따라 재배분하는 알고리즘을 의미한다.

2. 직접부하제어(Direct Load Control)

기존의 직접부하제어는 "전력회사의 계통 침투부하를 효율적으로 억제하기 위해 전력회사와 소비자가 계약을 체결하여, 침투부하 발생시 전력회사가 약정된 시간 및 회수만큼 소비자의 전력설비를 직접 제어하는 것"을 의미하였다. 따라서, 기존의 독점적 전력시장에서는 공급예비력 확보와 설비투자 지연을 목적으로 이를 운영하였다. 그러나, 이와 같은 직접부하제어는 경쟁적 전력시장의 도입으로 인해 재정의 되어야 하며, 그 시스템 또한 새로운 전력시장 환경에 맞게 변화할 것으로 예상된다.

2.1 우리나라의 직접부하제어 프로그램

현재 우리나라는 직접부하제어 프로그램의 시범사업을 한전과 에너지관리공단으로 2원화하여 운영하고 있다. 한전에서 운영중인 직접부하제어 프로그램은 정부주도형으로, 경쟁적 전력시장에서 전력계통 및 전력시장의 안정화를 위해 사전에 결정된 정부의 정책적 판단기준에 따라 계통운용자 및 시장운영자인 KPX가 IT 시스템을 이용하여 제어 가능한 부하를 원격으로 차단하는 새로운 부하제어 방식을 취하고 있다. 한편, 에너지관리공단에서 운영중인 직접부하제어 프로그램은 시장주도형으로써, 비상시 부하제어뿐만 아니라 배전회사 및 판매회사가 최적의 수요측 입찰을 시행할 수 있도록 하는 전력 IT 인프라 구축을 목적으로 하고 있다. 또한, 보조서비스 입찰 및 계약 지원 인프라 및 혼잡처리 지원 인프라 구축도 준비하고 있다.

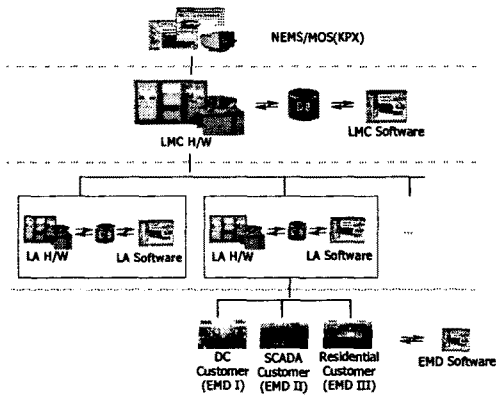
특히, 에너지관리공단은 새로운 직접부하제어 프로그램의 운영주체로서, 민간주도의 부하관리사업자를 육성 및 지원하고 있다. 경쟁적 전력시장에서는 부하관리사업자 스스로 직접제어가능한 부하를 발굴하여 여기에 하위 시스템을 구축하며 이를 자신의 부하관리사업자 운영시스템에 연계한다. 이러한 부하관리사업자 운영시스템은 다시 주관기관의 상위 시스템과 연계되어, 수급비상시 부하차단을 통한 공익적 기능을 수행하게 된다. 이와 함께, 부하관리사업자는 자신의 부하관리사업자 운영시스템을 통해 보조서비스 시장 및 수요측 입찰 등에 참여하여 이윤을 추구할 수도 있다.

향후에는 다양한 직접부하제어 프로그램을 운영함으로써 부하관리의 공적기능을 완성하고 수요측 입찰을 활성화하여, 풀 운영규칙에 의해 자율적으로 직접부하제어를 시행하는 것을 목표로 하고 있다.

2.2 경쟁적 전력시장의 새로운 직접부하제어 시스템

전력산업 패러다임의 변화에 따라 기존의 직접부하제어 시스템도 변화하고 있다. 기존의 직접부하제어 시스템은 한 전 중심의 단일 운영체제로써 부하제어방식도 전력소비자의 부하를 단방향으로 차단하는 것이었으며, 최상위 제어체계도 또한 EMS에 의존하는 단방향 정보 수신형태로써 시장 연동기능이 없었다. 그러나, 새로운 직접부하제어 시스템은 MOS-LMC-LA-EMD로 이어지는 계층적 운영체계를 가지며, 제어방식도 기존과는 다른 양방향 대화형 정보교환을 통해 차단부하에 대해 계층적으로 정보를 교류하는 방식을 적용한다. 최상위 제어체계도 또한 기존 방식과는 다르게 전력거래소의 MOS에 연동하여 비상수급시 부하제어를 가능하게 하고 있다. 직접부하제어에 대한 검증 및 정산방식도 변화하였는데, 기존의 시스템에서는 전자식 계량기에 의한 사후 정산을 수행했던 반면, 새로운 직접부하제어 시스템에서는 MOS와 연계제어 후 실시간으로 검증 및 정산시스템을 운영한다. 이와 같은 새로운 직접부하제어 시스템은 <그림 1>과 같다.

특히, LA 시스템은 민간 부하관리사업자에 의해 운영되며, 소비자는 이러한 부하관리사업자를 통한 새로운 직접부하제어제도에 참여함으로써 지원금 지원 및 부하제어에 의한 전력요금절감과 같은 직접적인 이익과 전력 도매가격 폭등과 같은 위험요소 발생 시의 피해를 최소화하고 전력시장 정보를 실시간으로 제공받는 등의 간접적인 이익을 얻을 수 있다.



<그림 1> 경쟁적 전력시장에서의 직접부하제어 시스템

3. 부하관리사업자 시스템의 최적 직접부하제어량 배분 알고리즘

새로운 직접부하제어 시스템은 MOS-LMC-LA-EMD로 이어지는 계층적 운영체계를 가지며, 제어방식도 기존과는 다른 양방향 대화형 정보교환을 통해 차단부하에 대해 계층적으로 정보를 교류하는 방식을 적용한다. 전력거래소의 EMS 시스템은 EMS 데이터와 MOS /Market 데이터, 그리고 차단부하 데이터에 기초하여, 현재의 전력시장상태가 전력수급측면에서 비상상태인지 또는 가까운 미래에 비상상태로 진입할 것인지를 분석/판단하며, 이에 따라 부하차단량을 계산하여 각 LMC에 배분한다. LMC 시스템은 EMS로부터 할당받은 부하차단량을 자체 최적직접부하제어량 배분 알고리즘에 따라 자신의 LA 시스템들에게 다시 배분하며, LMC로부터 각 LA의 부하차단량이 결정되면 각 LA는 자신에게 배분된 부하차단량을 각 최종소비자(EMD)에게 재배분해야 한다.

본 절에서는 현재 에너지관리공단이 시행하고 있는 직접부하제어 프로그램 제도에 적용하기 위한 부하관리사업자의 비상시 직접부하제어량 배분 알고리즘 개발에 대해 기

술하고자 한다.

3.1 부하제어 우선순위(Priority)

실제로, 소비자는 특정 시간에서 자신의 부하를 제어함에 있어 해당 부하의 종류에 따라 부하제어 시행에 대한 가치를 다르게 평가한다. 예를 들면, 어떤 소비자가 부하관리사업자로부터 500kW의 부하차단 명령을 전달받았다면, 이때 소비자는 생산부하를 차단하는 것보다는 냉방부하 또는 조명부하를 우선적으로 차단하고자 할 수 있다. 이러한 문제는 현실적으로 매우 중요한 문제이므로, 본 논문에서도 이와 같은 부하제어 우선순위를 기반으로 하는 배분 알고리즘을 개발하고자 한다.

이러한 부하제어 우선순위의 도입은 각각의 부하사용에 대한 효용을 보다 세분화하여, 급급적 소비자의 부하사용에 대한 효용을 극대화하면서 부하차단을 시행할 수 있도록 한다. 한편, 각각의 부하에 대해 부하제어 우선순위를 어떠한 방법으로 결정할 것인가에 대한 문제가 발생한다. 이에 대해서는 다양한 대안이 존재한다. 하나의 대안으로 소비자가 직접 자신의 각 부하에 대한 부하제어 우선순위를 결정하는 방법이 있다. 그러나, 이러한 방법은 직접부하제어 시행에 대한 지원금액을 부하제어 우선순위에 따라 차등지급하지 않으면(또한 각 우선순위 간 지원금의 차이가 커야 한다), 소비자들은 가장 낮은 부하제어 순위를 선택함으로써, 부하차단을 수행하지 않고 단지 직접부하제어 프로그램 참여에 대한 지원금만을 확보하려 할 것이다. 따라서, 이 방법은 현재 에너지관리공단 및 한전에서 수행하고 있는 직접부하제어 프로그램에는 적용하기 어려울 것으로 예상된다.

또 다른 대안으로는, 부하관리사업자가 부하종류 별로 우선순위를 임의로 지정하는 방법이 있다. 예를 들면, 부하관리사업자가 냉방부하의 부하제어 우선순위를 가장 높게 설정하고, 그 다음은 조명부하 등의 순서로 하며 최종 제어순위로서는 생산부하로 설정하여, 부하차단 시 이와 같이 설정된 우선순위에 따라 순차적으로 부하제어를 수행하는 것이다. 이러한 방법은 현재의 직접부하제어 프로그램에서도 적용이 가능하지만, 각각의 부하에 대해 소비자들마다 상대적으로 다르게 부하제어의 가치를 평가하는 것을 전혀 반영하지 못하는 문제점도 존재한다.

이 외에도 다양한 부하제어 우선순위 결정 방법이 존재한다. 부하제어 우선순위를 어떻게 결정할 것인가에 대한 문제를 해결하기 위해서는 직접부하제어 프로그램의 계약방법(즉, 소비자에게 지급하는 고정 지원금의 산정)에 대한 상세한 연구를 필요로 한다. 그러나, 이에 대한 논의는 본 논문의 주제를 벗어나므로, 본 논문에서는 각 부하에 대한 부하제어 우선순위가 사전에 결정되어 있다고 가정하고 부하관리사업자의 배분 알고리즘을 개발하고자 한다.

3.2 부하관리사업자 시스템의 최적 직접부하제어량 배분 알고리즘 개발

본 절에서는 각 차단가능 부하의 부하제어 우선순위를 바탕으로 부하관리사업자가 부하제어량을 배분하는 Load Shedding Priority Based Algorithm의 구현에 대해 기술한다. Load Shedding Priority Based Algorithm은 부하제어 우선순위에 각 수용가의 부하제어에 대한 효용이 반영되어 있다고 보는 것으로, 각 LCU의 제어 우선순위에 따라 부하제어량을 배분하는 것을 기본으로 한다. 만약, 제어 최중순위에 해당하는 LCU가 다수 존재할 경우에는 최중순위에 배분된 제어량의 크기에 가까운 차단가능량을 갖는 LCU부터 제어한다.

3.2.1 사전조건 (Pre-conditions)

부하제어량 배분 알고리즘에 따라 각 LCU의 부하제어량을 할당하기 전에, 부하관리사업자 시스템(LA System)에

모든 제어대상 수용가에게 “제어 전 통지(총량)”가 이루어진 상태이어야 하며, 각 수용가의 제어허용여부 정보가 LMC에 전달되어 있어야 한다.

LA 시스템은 주기적으로 다음과 같은 각 수용가에 대한 데이터를 LMC에게 전송한다.

$$LS(i, j, k, l, b, t_0, t_0 + \tau)$$

- 단,
- i : 해당 LCU의 ID
 - j : LCU i 가 속해있는 EMD의 ID
 - k : LCU i 가 속해있는 LA의 ID
 - l : LCU i 가 위치한 지역(location) ID
 - b : LCU i 가 위치한 모선(bus) ID
 - $t_0 \sim t_0 + \tau$: 시간 t_0 부터 $t_0 + \tau$ 까지의 LCU i 에 대한 부하 차단 판별정보, 이 정보는 부하차단가능량과 부하제어 우선순위(priority, PR) 및 부하제어에 대한 지원금(payback, PB) 정보를 포함한다.

LMC는 부하제어 필요시, 이러한 정보를 바탕으로 부하 차단 명령을 전송해야 한다. LMC가 부하관리사업자(LA)에게 전송하는 부하차단 명령에는 다음과 같은 정보가 포함되어야 한다.

$$RLS(k, l, b, t_0, t_0 + \tau)$$

- 단,
- k : 부하제어를 수행하는 LA의 ID
 - l : 부하차단이 필요한 지역(location)의 ID
 - b : 부하차단이 필요한 모선(bus)의 ID
 - $t_0 \sim t_0 + \tau$: 시간 t_0 부터 $t_0 + \tau$ 까지의 부하제어 요구량

따라서, 부하제어가 필요한 모선 b 에 단 하나의 LCU만 존재한다면 해당 LCU만 제어하면 되므로 이와 같은 경우에는 부하제어량을 배분할 필요가 없다. 그러나, 부하제어 대상 모선에 다수의 LCU가 존재할 경우에는 이들 LCU에 대해 합리적인 방법으로 부하제어량을 배분해 주어야 한다.

3.2.2 배분절차 (procedures)

Load Shedding Priority Based Algorithm은 다음과 같은 과정에 따라 각 LCU에 대해 부하제어량을 배분한다.

- A. LMC로부터 총 부하제어량 LS 를 할당받음
- B. 제어대상 순위(primary priority) $p=0$, 제어순위 p 까지 누적된 부하제어 실행량 $S_p=0$ 으로 초기화
- C. 제어대상 순위 p 가 최하위 제어순위 N 을 초과하는지 여부를 판별
 - i. 초과하지 않으면 step E로 이동
 - ii. 초과하면 에러 메시지를 전송하고 종료. 이 때, 총 부하제어 실행량 S_p 및 제어불가능량 $LS - S_p$ 를 계산하며 이 결과를 에러 메시지에 포함하여 LMC에 전송. 단, 부하제어 우선순위는 1부터 N 까지 오름차순으로 진행됨
- D. $p = p + 1$ 로 update
- E. 제어순위 p 까지 누적된 부하제어 실행량 S_p 계산. 단, L_p 는 제어순위 p 에 해당하는 모든 LCU들의 부하차단량의 합
- F. S_p 가 LA가 할당받은 총 부하제어량 LS 를 초과하는지 여부를 판별
 - i. 초과하지 않으면 step C로 이동. 제어순위 p 에 해당하는 모든 LCU들을 제어대상 LCU 리스트에 기록
 - ii. 초과하면 step G로 이동
- G. 최종 제어순위 p 에 배분된 부하제어량 RS_p 를 계산

$$RS_p = LS - S_{p-1}$$
- H. 최종 제어순위 p 에 포함되는 LCU들에 대한 sub-

priority $j=0$, (최종 제어순위 p 에 배분된 부하제어량 RS_p 에 대해) sub-priority j 까지 누적된 부하제어 실행량 $RL_j=0$, 및 잔여 부하제어량 $RC=RS_p$ 로 초기화

- I. $j = j + 1$ 로 update
- J. 최종 제어순위 p 에 포함되는 각 LCU의 norm을 계산. 임의의 LCU k 에 대하여,

$$Norm_k = |RC - L_{pk}| \text{ (절대값)}$$
 단, L_{pk} 는 제어순위 p 에 해당하는 LCU k 의 부하차단량
- K. Norm이 가장 작은 LCU를 판별
- L. Sub-priority j 까지 누적된 부하제어실행량 RL_j 를 계산

$$RL_j = RL_{j-1} + L_{pk}$$
 단, L_{pk} 는 step K에서 판별된 norm이 가장 작은 LCU의 부하차단량
- M. RL_j 가 RS_p 를 초과하는지 여부를 판별
 - i. 초과하지 않으면 step I로 이동
 - sub-priority j 에 해당하는 LCU를 제어대상 LCU 리스트에 기록
 - $RC = RS_p - RL_j$ 로 update
 - ii. 초과하면 step N으로 이동
 - sub-priority j 에 해당하는 LCU를 제어대상 LCU 리스트에 기록
- N. 총 부하제어량 S_p 를 계산

$$S_p = S_{p-1} + RL_j$$
- O. 제어대상 LCU 리스트에 기록된 각 LCU에 제어명령 전송

4. 결 론

본 논문에서는 새로운 직접부하제어 시스템, 특히 경쟁적 전력시장에서의 부하관리 운영주체로서 새롭게 등장하는 부하관리사업자의 최적 배분 알고리즘에 대해 기술하고자 한다. 이러한 부하관리사업자 시스템의 최적 직접부하제어량 배분 알고리즘은 각 부하관리사업자에게 배분된 부하제어량을 자신이 관리하는 각 최종소비자의 차단부하 특성에 따라 재배분하는 알고리즘을 의미한다.

이를 위해, 본 논문은 직접부하제어 프로그램 참여자(부하관리사업자 및 각 최종소비자)의 효용을 극대화시킬 수 있는 배분 알고리즘 구현을 목적으로 하였다. 그러나, 최종소비자의 부하사용에 대한 효용을 수학적으로 표현하는 것이 쉽지 않기 때문에, 각 차단가능 부하의 부하제어 우선순위(priority)를 바탕으로 부하관리사업자가 부하제어량을 배분하는 Load Shedding Priority Based Algorithm을 개발하였다. Load Shedding Priority Based Algorithm은 부하제어 우선순위에 각 수용가의 부하제어에 대한 효용이 반영되어 있다고 보는 것으로, 각 LCU의 제어 우선순위에 따라 부하제어량을 배분하는 것을 기본으로 한다. 만약, 제어 최종순위에 해당하는 LCU가 다수 존재할 경우에는 최종순위에 배분된 제어량의 크기에 가까운 차단가능량을 갖는 LCU부터 제어함으로써, 부하관리사업자에게 할당된 부하차단량을 최소로 만족시킴과 동시에 소비자의 전기사용에 대한 효용을 극대화하였다.

5. 참고문헌

- [1] 기초전력공학공동연구소, “직접부하제어(DLC) 상위시스템 구축”, 한전 KDN, 2002. 12
- [2] 에너지관리공단 홈페이지, <http://www.kemco.or.kr/dlc>
- [3] 한국전력공사 홈페이지, <http://ebiz.kepco.co.kr/load>

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업으로 수행된 논문입니다.