

건물군 에너지 수요관리 알고리즘 및 적용 절차

김정욱[†]

상명대학교 에너지그리드학과

(2016년 4월 12일 접수, 2016년 6월 7일 수정, 2016년 6월 16일 채택)

Energy Demand Management Algorithm for Buildings and Application Procedure

Jeong-Uk Kim[†]

Department of Energy-Grid, Sang-Myung Univ, 20, Hongimun 2-Gil, Jongno-Gu, Seoul, 110-743 Korea

(Received 12 April 2016, Revised 7 June 2016, Accepted 16 June 2016)

요 약

본 논문은 건물군을 위한 개선된 수요 관리 방안을 연구하였다. 수요 반응 체계하에서 제어가능한 다양한 수요 사이트 자원을 집단화하는 것이 중요하다. 기존의 수요관리 알고리즘은 주로 단일 건물로 제한되는데 반하여 본 논문은 많은 수의 건물을 위한 수요관리 알고리즘을 제시하였다. 또한, 제시된 수요관리 알고리즘을 적용하기 위한 절차를 제시하였다.

주요어 : 수요반응, 부하제어, 에너지절감, 건물 에너지, 건물 자동제어 시스템

Abstract - This paper presents an advanced energy demand management for buildings. It is important to aggregate a various demand side resource which is controllable on demand response environment. Previous demand side algorithm for building is mostly restricted on single building. In this paper, we suggest energy demand management algorithm for many buildings. And, this paper shows the procedure to apply suggested demand management algorithm.

Key words : Demand Response, Load Control, Energy Saving, Building Energy, Building Automation System

1. 서 론

전력시장은 공급 및 수요의 불확실성이 심화되고 있으며, 이에 따라 공급 요금의 변동 및 수요 패턴의 변동을 효과적으로 대응하기 위하여 다양한 수요반응(Demand Response, DR) 제도와 이를 활성화하기 위한 정책적 수단들이 활발하게 개발되고 있다. 수요반응은 전력수요를 합리적으로 조절하여 부하율 향상을 통한 원가절감과 전력 수급안정을 도모한다.

개별 수용가를 위한 DR 알고리즘에 대해서는 다양한 연구가 진행되어 왔다.[1][2][3] 특히, 개별 수용가의 자

동화된 수요반응 시스템을 구현하기 위해서 개별 건물에 설치된 빌딩 자동제어 시스템(Building Automation System, BAS) 및 BEMS(Building Energy Management System)를 활용하는 연구가 최근에 활발히 수행되고 있다.[2][3] 부하관리사업자를 위한 수요반응 운영 시스템은 직접부하제어 시스템에 대한 연구[4][5]에서 스마트 그리드 수요 반응 시스템[6]으로 확대되고 있다.

수요관리 사업자를 위한 알고리즘은 직접부하제어 시스템의 효율적인 구현을 위하여 부하를 합리적으로 배분하는 연구가 수행된 바 있고[4][5], 발전 자원의 최적 기동정지로 수요를 관리하는 연구가 수행되었다.[7] 다수 건물에 적용이 가능한 수요관리 알고리즘에 대한 연구는 수용가간의 전력을 거래하는 모델이 연구된 바 있으며,[8] 다수의 수용가에 부하를 배분하는 알고리즘에 대

[†]To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Energy Grid, Sangmyung Univ.

Tel : +82-2-2287-5327 E-mail : jukim@smu.ac.kr

한 연구가 수행되었으나[9] 실제로 건물군에 적용이 가능한 구체적인 알고리즘 및 절차에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 건물군의 에너지 수요관리에 적용이 가능한 수요반응 프로세스 및 구현 알고리즘을 제시한다. 또한 실제 구현이 가능하도록 제시된 방법의 적용 사례를 제시하였다.

2. 수요반응(Demand Reponse)

수요반응은 전력계통과 고객의 동적인 협력을 통해 효율적인 에너지 사용을 가능하게 한다. 전기적 그리드가 전기 용량에 근접할 때 DR 시스템은 주요 수용가에게 경보를 통지하며, 수용가는 건물의 사용하지 않는 조명을 끄거나 에어컨 사용을 줄이는 등 불필요한 전기 수요를 줄인다. DR은 국가적으로는 그리드의 안전성을 향상시킬 수 있으며, 수용가에게는 피크 기간의 전기 요금을 절감할 수 있도록 한다. DR의 자동화 수준은 DR 신호에 대하여 수동으로 각 장비의 스위치나 제어 장치를 제어하는 Manual Demand Response, 중앙제어 시스템에 사전에 구현된 일련의 수요반응 동작을 조작자가 기동시키는 Semi-Automated Demand Response, 조작자의 개입 없이 외부의 통신 신호에 의해 자동으로 수요반응 동작이 시작되는 Fully-Automated Demand Response로 구분된다.[10]

Open Automated Demand Response(Open Auto-DR)은 외부의 표준 신호에 의해 시작되는 자동화된 수요반응으로 두 가지 주요 요소로 구성된다. 첫째, 수요반응 자동화 서버(Demand Response Automation Server)는 DR 이벤트를 고객들에게 통보하는 표준 신호를 제공한다. 둘째, 수요반응 자동화 서버의 클라이언트는 고객 사이트에 설치되며, 자동으로 통보된 이벤트 신호를 기 구축

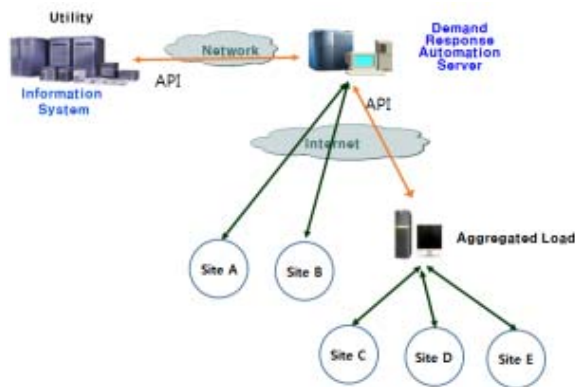


Fig. 1. Open ADR Architecture

된 자동제어 시스템에 전달한다.[10]

DR 이벤트가 발생하는 경우에 Open Auto-DR이 수행하는 단계는 다음과 같다.

1. 유틸리티가 DR 이벤트와 비용 신호를 DRAS로 보낸다.
2. DRAS는 DR 이벤트와 비용 신호를 DRAS에 저장한다.
3. DRAS 클라이언트는 정기적으로 DRAS에게 이벤트 정보를 요청한다.
4. DRAS 클라이언트는 이벤트 정보에 따라 사전 정의된 DR 프로그램을 결정한다.
5. DR 프로그램은 사전 프로그램된 부하제어를 실행한다.

3. 건물 수요관리

3-1. 개별 건물 부하제어

자동화된 수요반응을 구현하기 위하여 제어가능한 부하를 선정하는 일은 매우 중요하다. 일반 업무용 빌딩이나 백화점, 대형 할인점의 경우 조명설비 및 냉난방 설비, 공조 설비 등이 제어 가능 부하이다. 개별 건물에서 자동 수요반응을 효과적으로 지원하기 위해서 소비전력 수집 → 프로파일 작성 → 전력수요 예측 → 전력사용 목표 설정 → 부하 조정 → 부하 제어 → 수요자원 평가의 과정을 수행하는 것이 바람직하다. 앞의 4단계(소비전력 수집, 프로파일 작성, 전력수요 예측, 전력사용 목표 설정)와 마지막 수요자원 평가는 부하관리사업자가 주로 수행할 것이며, 부하 제어와 관련된 2단계(부하 조정, 부하 제어)는 수용가가 수행하게 된다.

건물에서 수집된 소비전력량 정보를 활용하여 일별 전력수요를 예측하게 되는데, 소비전력 수집 프로세스는 한국전력에서 제공하는 I-Smart 또는 자체적으로 수집된

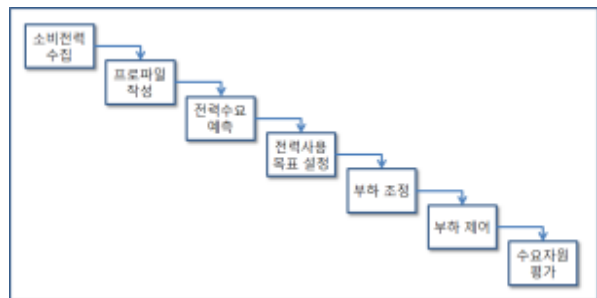


Fig. 2. Demand Response Process

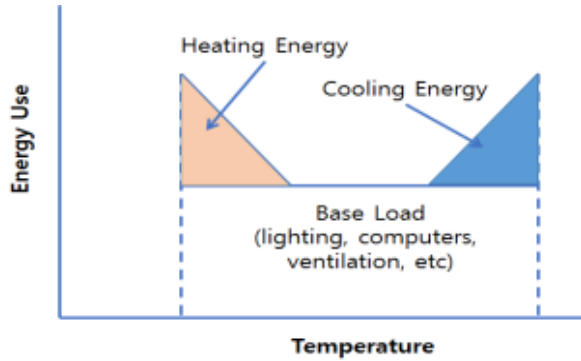


Fig. 3. Typical Building Profile for Energy and Temperature

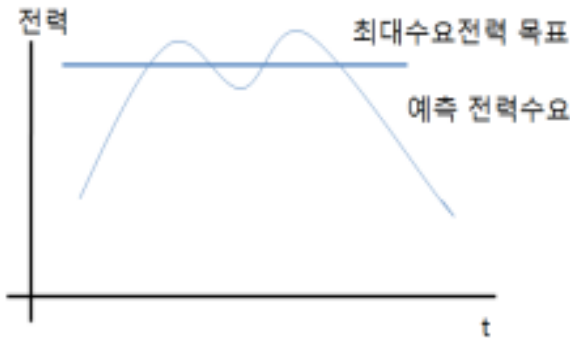


Fig. 4. Power Consumption Curve

데이터를 활용할 수 있다. 전력수요 프로파일은 다양한 기간에 대하여 구축이 가능하나, 본 연구에서는 한전의 수요조정제도와 동일한 기준을 채택한다.[11] 한전의 “고객기준부하”는 수요조정기간 직전 정상영업일(토, 공휴일 제외) 10일간의 수요조정시간대에 계량된 최대수요전력의 1시간 평균전력 중에서 최고 2일, 최저 2일을 제외한 나머지 6일의 각 1시간 평균전력을 취한다. 본 논문에서도 전력 수요관리의 실익이 없는 토요일과 휴일을 제외한 일자에 대하여 15분 단위(수요시간)로 계측된 10일 전력데이터를 이용한다. 전력소비 프로파일을 이용하여 해당일의 전력수요량을 예측하게 되는데, 프로파일로부터 도출된 예측량은 지난 10일의 평균치가 된다.

건물 에너지 소비는 고정부하와 난방부하, 냉방부하로 이루어져 있으며, 일반적으로 Fig 3.과 같이 난방부하는 온도와 유관한 에너지사용량을 보인다. 미국 Energy Star의 기후보정에 의한 에너지 예측 기법과 같이 CDD (Cooling Degree Day) 또는 HDD(Heating Degree Day)를 활용하여 보정된 예측 전력수요량을 도출할 수 있다.[12]

건물의 에너지사용 목표는 다양하게 수립될 수 있다.

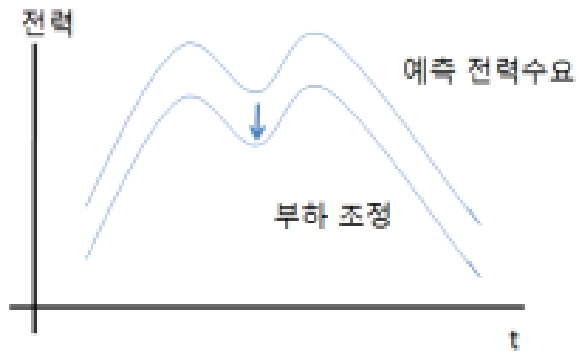


Fig. 5. Power Consumption Curve

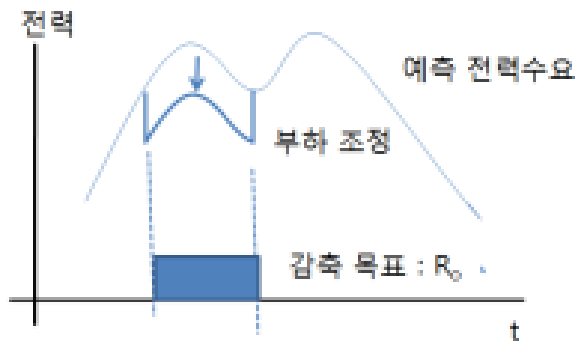


Fig. 6. Power Consumption Curve

특정 시간대 또는 하루를 기준으로 최대수요전력 목표를 설정하거나 누적전력량 목표를 설정할 수 있다. DRAS에서 수용가의 에너지를 감축하기 위하여 특정 시간대의 일정 감축량을 목표로 할 수도 있다.[13] 특정시간대 또는 하루를 기준으로 최대수요 목표는 P_0 , 누적전력량 목표는 Q_0 , 일정 감축량을 R_0 라 하자. P_0 , Q_0 , R_0 의 에너지사용 목표에 의하여 부하 조정(Load Shaping)을 수행하게 된다. P_0 는 최대전력수요제어를 위한 목표 수요가 된다.

Q_0 는 예측 전력수요량을 일정 비율로 스케일링하는 효과가 발생한다.

R_0 는 특정 시간대의 예측 전력수요량을 일정한 감축하는 효과가 발생한다.

부하 조정(Load Shaping)된 전력사용량 곡선에 의하여 부하제어를 수행하게 된다. 설정된 전력사용량 곡선을 활용한 부하제어 방법은 [6]을 활용할 수 있다. DRAS 서버에서 부하 제어의 결과를 분석하여 수요자원을 평가하여 이후의 제어를 위한 근거 자료로 활용이 가능하다.

3-2. 건물군 부하제어

건물군의 수요반응 제어는 개별 건물의 수요반응 제어

알고리즘의 확장된 형태를 갖게 된다. 본 연구에서는 계 시제(TOU, Time of Use)와 피크제(CPP, Critical Peak Pricing), 실시간 요금제(Realtime Pricing) 등의 다양한 요금체계를 가정하여 개별 건물 및 집합 건물의 전력 사용 목표를 설정하였다. 건물군 부하제어의 경우도 개별 건물과 같이 7단계의 부하제어 과정을 수행한다.

1) 소비전력 수집

- 개별 건물에 대하여 최근 10일간 15분 소비전력량 정보를 수집한다. 건물군의 소비전력은 개별 건물 소비전력의 합으로 산정한다.
- 개별 건물의 소비전력은 해당 건물의 전력수요를 예측하는데 활용되나, 개별 건물의 용도 및 운용 정책에 따라 근무일 패턴이 달라지므로 건물군 전력 수요 예측은 건물군의 소비전력량으로부터 직접 도출되지 않고, 개별 건물의 전력수요 예측의 합으로부터 도출된다. 따라서, 건물군의 소비전력은 참조용으로 활용된다. 아래의 점선은 참조용이라는 의미이다.

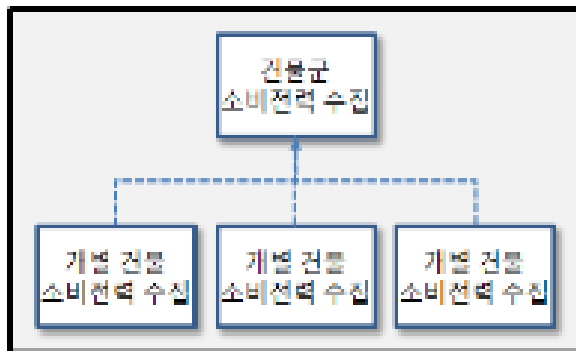


Fig. 7. Collecting Energy Consumption Data

2) 프로파일 작성

- 개별 건물의 15분 전력량을 이용하여 주간, 주말, 공휴일로 구분한 동일 시간대의 표준 프로파일을 구축한다. 건물군 프로파일은 개별 건물의 프로파일로부터 도출한다.
- 개별 건물 프로파일로부터 도출된 건물군 프로파일은 참조용으로 활용된다.

3) 전력 수요 예측

- 개별 건물의 프로파일을 이용하여 개별 건물 및 건물군의 전력 수요를 예측한다.
- 개별 건물의 주간, 주말, 공휴일 특성을 반영하여 건물군의 전력 수요를 예측한다.

4) 전력사용 목표 설정

- 건물군의 목표가 설정된 후에 개별 건물의 전력사용 목표를 설정한다.
- 개별 건물 및 건물군에 대하여 각각 특정 시간대 또는 하루를 기준으로 최대수요전력 목표를 설정하거나 누적전력량 목표를 설정하거나, 특정 시간대의

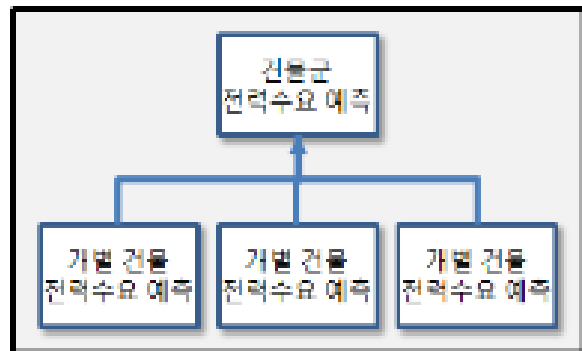


Fig. 9. Forecasting of Power Consumption

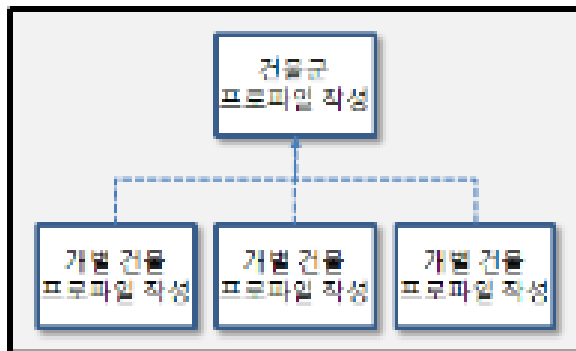


Fig. 8. Energy Profiles for Buildings

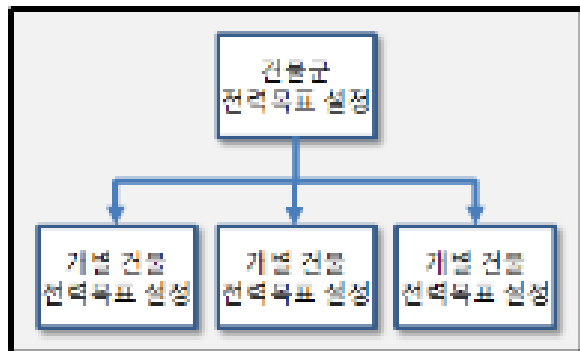


Fig. 10. Energy Consumption Target

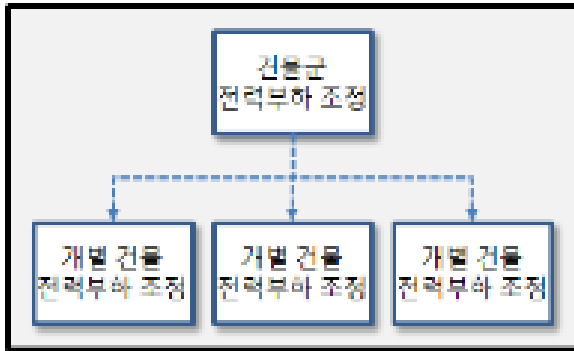


Fig. 11. Load Shaping

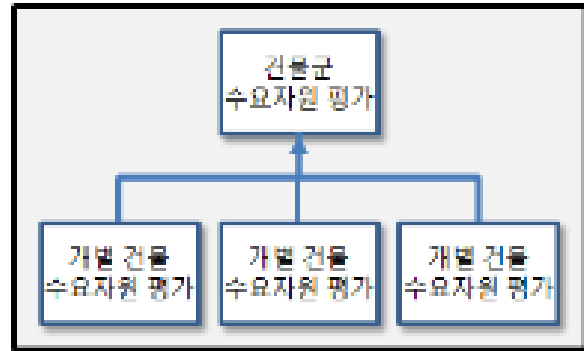


Fig. 13. Estimation of Demand Resource

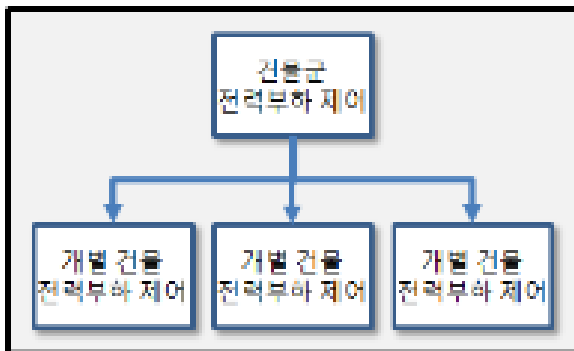


Fig. 12. Load Control

감축량을 목표로 할 수 있다.

- 개별 건물 및 건물군에 대하여 각각 다양한 형태의 목표 설정이 가능하다.
 - 최대 수요전력
 - 누적 전력량
 - 구간 절감량
 - 최소 전력요금

5) 부하 조정(Load Shaping)

- 개별 건물 및 건물군에 대하여 전력사용 목표에 따라 특정 시간대 또는 하루의 부하 조정 형태가 결정된다.
- 부하 조정은 다음과 같은 형태가 가능하다.
 - 최대 수요전력 억제형 : 최대 수요전력을 설정
 - 전력수요 비례형 : 전력수요 예측을 스케일링
 - 부하율 최대형 : 전력사용량을 일정하게 유지
 - 전력요금 절감형 : 전력요금을 최소화

6) 부하 제어

- 부하 조정에 의하여 도출된 전력 사용 목표에서 15분 단위로 목표 수요전력 제어를 수행한다.

- 건물군에 적용된 부하 조정의 조건하에서 개별 건물의 부하 제어를 수행한다.
- [6]의 전력사용량 기반의 새로운 부하제어 알고리즘을 변경하여 활용할 수 있다. 기존 알고리즘의 수행 조건에 최대 수요전력 목표를 설정하는 부분이 추가된다.

7) 수요자원 평가

- 개별 건물 및 건물군 부하의 수요자원 특성을 평가한다.
- 수요자원으로서의 부하는 건물의 운영 방식 및 운전 조건에 따라 제어의 신뢰성이 변하게 된다. 부하 제어의 신뢰성 평가에 의하여 DR 프로그램의 유효성이 결정된다.

4. 알고리즘 적용 절차(예)

우리나라의 요금 정책은 Time-Of-Use(TOU, 계시제) 및 일부 Critical Peak Pricing(CPP, 피크요금제)를 적용하고 있으나 장래에는 Realtime Pricing(RTP, 실시간 요금제)을 채택하게 될 것이다. 수요관리에 의한 전력사용 목표는 전기요금제 및 수요관리 인센티브에 맞추어 설계될 수 있다. 실 적용을 위하여 알고리즘을 적용하기 위한 사례를 기술하였다. 수요관리사업자와 전력거래소의 계약에 따라 다양한 알고리즘의 적용이 가능할 것이다.

1) 소비전력 수집

- I-Smart 자료를 활용하여 대상 건물의 10주간 15분 수요전력 자료를 수집한다.

2) 프로파일 작성

- 프로파일 적용을 쉽게 하기 위하여 평일과 휴일(토

요일, 일요일), 주중 휴일로 구분한다. 주중이지만 평일인 주중 휴일경우는 요일에 무관하게 별도로 적용한다.

3) 전력 수요 예측

- 예측일자에 대하여 대상 건물의 평일, 휴일, 주중 휴일 프로파일을 통하여 해당일의 전력소비 패턴을 도출한다.
- 건물군은 개별 건물의 합으로 해당일의 전력소비 패턴을 도출한다.

4) 전력사용 목표 설정

- 개별 건물 및 건물군에 대하여 각각 특정 시간대 또는 하루를 기준으로 최대수요전력 목표를 설정하거나 누적전력량 목표를 설정하거나, 특정 시간대의 감축량을 목표로 할 수 있다.
- 건물군에 대하여 최대수요전력 목표 P_{total} 를 설정하는 경우에는 개별 건물 j 의 최대수요전력 P_j 에 비례하도록 개별 건물 j 의 목표최대수요전력을

$$\frac{P_j}{\sum P_i} \times P_{total} \text{로 설정한다.}$$

- 건물군에 대하여 누적전력 목표 Q_{total} 를 설정하는 경우에는 해당일의 개별 건물 j 의 예측 전력량 Q_j 에 비례하도록 개별 건물 j 의 전력사용 목표

$$\frac{Q_j}{\sum Q_i} \times Q_{total} \text{를 설정한다.}$$

5) 부하 조정(Load Shaping)

- 개별 건물의 전력사용 목표에 맞추어 전력수요 예측량을 조정한다.
- 건물군의 부하조정은 개별 건물의 부하조정의 합이다.

6) 부하 제어

- 부하 조정에 의하여 도출된 전력 사용 목표에서 15분 단위로 목표 수요전력 제어를 수행한다.
- [6]의 전력사용량 기반의 새로운 부하제어 알고리즘을 활용한다.

7) 수요자원 평가

- 개별 건물 및 건물군의 부하제어 결과에 대하여 목표 대비 실적을 평가한다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 건물에 설치된 자동제어 시스템을 활용하여 스마트그리드 기반의 부하관리를 구현하기 위한 방법론을 제시하였고, 적용 방안을 제시하였다. 스마트그리드 기술에 대한 사회적 관심이 커져가고 있으나 활용 측면은 아직 미진한 실정이다. 본 논문에서 제시한 건물군 수요관리 방안은 다양한 형태로 적용이 가능하므로 스마트그리드의 효율적인 운영에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 2015학년도 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음

References

1. Pedro Faria, Zita Vale, José Baptista, "Demand Response Programs Design and Use Considering Intensive Penetration of Distributed Generation", *Energies*, pp. 6230~6246, 2015.
2. Y.-G.Hwang, "Research on Stably Building Energy Management System for Demand Controlled Intelligent Service ", Chung-Ang University, Master's Thesis, 2016.
3. Jeong-uk Kim, "Building AHU Load Control Algorithm based on Demand Response", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 60, No. 6, pp. 1225~1228, 2011.
4. Hyeong-Jung Kim, et al., "Configuration and Application Scheme of Direct Load Control System", *2003 Proceedings of the KIEE Conference*, pp. 627-629, 2003.
5. Ji-Hui Kim · Guk-Hyun Moon · Sung-Kwan Joo · Jae-Cheol Oh, "Development of Demand Response Operation System for Load Aggregators During an emergency due to a shortage of power, a load aggregator", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 60, No. 12, pp. 2221-2224, 2011.
6. Ju Hyun Park, Yu Min Hwang, Jin Young Kim, Jae

- Jo Lee, "A Study on the Implementation of Demand Response System in Smart Grid", The Journal of Korea Society of Communication and Sapce Technology , pp. 44-48, 2015.
7. J.-P.Yang, "An Optimal Unit Commitment Algorithm with Demand Response Resource using PSO-DP", University of Konkuk, Master's Thesis, 2016.
 8. Amy Richard, Peter Kelly-Detwiler, Joseph Franz, "Multi-building control for demand response power usage control", US Patent US7565227 B2, 2009.
 9. Jeong-uk Kim,, "A New Load Allocation Algorithms of Direct Load Control", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 2, pp. 407~410, 2010
 10. Lawrence Berkeley National Laboratory Akuacom, Open Automated Demand Response Communications Specification(Version 1.0), 2009.
 11. KoreaElectricPowerCorporation, Ther agreement of electric power supply, 2016.
 12. Energy Star, "climate and weather technical report", 2015.
 13. Jeong-uk Kim, "A New Load Control Algorithms based on Power Consumption", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 9, pp. 1658~1662, 2010