

큐잉모델에 기초한 자율 지능 부하 관리 시스템 연구

(A Study of Autonomous Intelligent Load Management System
Based on Queueing Model)

이승철* · 홍창호 · 김경동 · 이인용 · 박찬엄**

(Seung-Chul Lee · Chang-Ho Hong · Kyung-Dong Kim · In-Yong Lee · Chan-Eom Park)

요 약

본 논문은 전력회사와 수용가가 실시간으로 상호 협력하면서 효율적으로 여름철 냉방부하를 관리하여 첨두부하를 저감하기 위한 기법에 대하여 기술한다. 전력회사가 필요 관리량을 수용가 측에 요청하면 부하관리 요청을 받은 수용가, 예를 들면 대규모 아파트 단지의 중앙 지능관리 서버(Central Intelligent Management Server: CIMS)가 자율적인 관리를 통하여 요구받은 관리전력 이내로 부하율을 조정하도록 한다. 부하율을 관리하기 위한 수단으로 CIMS는 필요 관리 부하전력에 따라 냉방기를 가동할 수 있는 권리에 해당하는 적정 수의 토큰(Token)을 발행하고 각 세대내의 냉방기를 제어할 수 있는 다수의 로컬 지능관리 서버(Local Intelligent Management Server: LIMS)들이 각 집안의 상황에 따라 냉방기를 가동하기 원할 경우에 전체 관리 서버에게 냉방기를 가동할 수 있는 권리에 해당하는 토큰을 요청하도록 한다. CIMS는 LIMS들의 토큰 요청을 관리하기 위한 큐(Queue)를 구성하여 관리하고 토큰을 요구한 각 LIMS들은 토큰을 할당받는 대로 자신이 담당하는 세대내의 냉방기를 가동하고 일정조건이 만족 되면 자율 또는 타율로 토큰을 반납하여 큐에서 기다리는 다른 LIMS들에게도 토큰이 할당될 수 있도록 한다. 큐 운영 정책에 다양한 냉방기 운용 환경 정보를 반영하고 CIMS와 LIMS간에 원만한 상호 협력을 위하여 지능형 멀티 에이전트(Multi-Agent) 시스템으로 구성하고 이들을 계층구조의 네트워크로 연결하였다. 제안하는 기법을 서울의 한 아파트단지의 여름철 전력수요 데이터를 예로 하여 예상되는 대기 시간과 지원 받을 수 있는 전력요금 규모를 산정해 보았으며, 비교적 적은 수용가의 불편으로 큰 부하관리 효과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다.

Abstract

This paper presents an innovative load management technique that can effectively lower the summer peak load by adjusting the aircondition loads through smooth coordinations between utility companies and large customers. An intelligent hierarchical load management system composed of a Central Intelligent Load Management System(CIMS) and multiple Local Intelligent Management Systems(LIMS) is also proposed to implement the proposed technique. Upon receiving a load curtailment request from the utilities, CIMS issues tokens, which can be used by each LIMS as a right to turn on the airconditioner. CIMS creates and maintains a queue for fair allocation of the tokens among the LIMS demanding tokens. By adjusting the number tokens and queue management policies, desired load factors can be achieved conveniently. The Markov Birth and Death Process and the Balance Equations are employed in estimating various queue performances. The proposed technique is tested using a summer load data of a large apartment complex and proved to be quite effective in load management while minimizing the customer inconveniences.

Key Words : Load Management, Intelligent Load Management System, Load Management Queue, Peak Load, Markov Birth and Death Process, Airconditioner Load

* 주저자 : 중앙대학교 공대 전자전기공학부 교수

** 교신저자 : 중앙대학교 전력IT연구실 연구원

Tel : 02-820-5325, Fax : 02-826-1103, E-mail : sclee@cau.ac.kr

접수일자 : 2007년 12월 14일, 1차심사 : 2007년 12월 24일, 2차심사 : 2008년 1월 7일, 심사완료 : 2008년 1월 15일

1. 서 론

최근 도시화의 가속과 산업의 고도화, 지구의 이상고는 현상으로 인한 여름철 냉방부하의 급증 등으로 인해 전력 부하량은 날로 증가하고 있으며 원자력, 화력, 수력 등을 통한 발전량의 증대는 입지 조건, 환경영향, 건립비용등의 문제로 쉽게 이루어지기 어려운 문제점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 전력 계통 운영 측면에서 수요관리[1-2](DSM, Demand Side Management)에 관한 연구가 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다.

수요관리의 궁극적 목적은 전력 수요를 합리적으로 조절하여 부하율 향상을 통한 비용 절감과 전력수급안정을 도모하며 국가적인 에너지자원의 절약에 기여하는데 있다. 또한 화석연료 사용으로 인한 환경 오염문제와 이산화탄소 배출량의 증대로 인한 지구온난화 문제가 심각하게 대두됨에 따라 친환경적인 에너지 정책 대안으로 강조되고 있다.

수요 관리 유형에는 여러 가지가 있지만 크게 부하관리와 전략적 소비절약으로 나누어 볼 수 있다. 전략적 소비절약(Strategic Conservation)은 전기의 이용효율 향상을 통하여 전력수요를 절감시켜 에너지 자원을 절약하고 환경을 보전하는 것이고 부하관리는 피크를 억제하거나 이동시키고 심야 수요를 증대시킴으로써 최대 부하와 최저 부하간의 차이를 감소시켜 부하 평준화를 도모하여 전력공급설비의 이용효율을 높이는 것을 그 목적으로 하고 있다.

우리나라에서는 부하관리 방법으로 휴가 보수와 자율 절전이 하게 피크 부하를 줄이는데 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 직접 부하 제어(Direct Load Control), 원격제어 에어컨과 최대전력장치 및 축냉 설비를 통하여 부하관리를 실시하고 있다. 해외에서는 라디오 주파수대를 이용한 단방향 부하관리[3], 여름철 기온 상승으로 인한 1[°C] 온도 상승 시 추가 발생 부하량에 대한 연구[4] 및 직접 부하 제어를 통한 ILM(Interruptible Load Management)에 관한 연구[5] 등이 진행되고 있다.

본 논문은 멀티 에이전트(Multi-Agent) 기반 실시간 지능 부하관리를 통하여 수용가의 불편을 최소화

화하면서도 효과적인 관리를 수행하기 위한 기법에 대한 연구 내용을 기술한다. 전력회사가 필요 관리량을 수용가 측에 요청하면 부하관리 요청을 받은 대규모 수용가(본 논문에서는 주로 대규모 아파트단지를 대상으로 하였다.)의 중앙 관리 서버는 자율적인 관리를 통하여 요구받은 관리량을 제어하도록 하였다. 대규모 수용가의 부하관리시스템은 필요 부하관리량을 전력회사로부터 통보 받아 이를 수행하는 중앙 지능 관리 서버(Central Intelligent Management Server: CIMS)와 중앙 관리 서버와의 협조를 통해 각 세대의 냉방기를 제어할 수 있는 다수의 로컬 지능 관리 서버(Local Intelligent Management Server: LIMS)가 네트워크로 연결된 구조로 구성하였다. CIMS와 LIMS가 상호 협력하며 부하를 관리하기 위한 수단으로 CIMS는 필요 관리 부하전력에 따라 적정수의 토큰(Token)을 발행하고 각 LIMS는 세대내의 상황에 따라 냉방기를 가동하기 원할 경우 중앙 관리 서버에게 냉방기를 가동할 수 있는 권리에 해당하는 토큰을 요청하도록 하였다. CIMS는 LIMS들의 토큰 요청을 관리하기 위한 큐(Queue)를 구성하여 관리하고 토큰을 요구한 각 LIMS들은 토큰을 할당받는 대로 자신이 담당하는 세대내의 냉방기를 가동한다. 토큰의 반납조건은 자발적인 반납과 강제적인 반납으로 나누어진다. 집안의 온도가 설정치 이하로 내려가거나 거주자가 직접 가동을 중단하거나 또는 외출 시 LIMS는 자율적으로 토큰을 반납하게 된다. 토큰을 할당받아 냉방기를 가동하는 LIMS들은 토큰발행 수와 전체세대수를 고려하여 설정한 토큰 점유 1회 최대 허용시간에 도달할 경우에 토큰을 반납하도록 한다. 토큰의 신청조건은 집안의 온도가 상한 설정치에 접근할 경우이며 특히 거주자가 귀가하여 수동으로 냉방기의 전원을 인가할 때는 우선적으로 토큰을 할당하여 거주자의 불편을 최소화할 수 있도록 부하를 관리한다. 또한 토큰의 관리 시 다양한 운용환경 정보를 반영하기 위하여 지능형 멀티 에이전트 시스템으로 구성하였다. 에이전트들 간의 통신을 위하여 SOAP[6] 및 UDDI[7]기술을 활용하였고 정보의 구성은 HTTP, XML을 이용한 메타데이터를 바탕으로 하였다. 제안하는 기법을 서울의 한 아파트단지의 여름철 전력

큐잉모델에 기초한 자율 지능 부하 관리 시스템 연구

수요 데이터를 예로 하여 예상되는 대기 시간과 지원 받을 수 있는 전력요금 규모를 산정해 보았으며, 비교적 적은 수용가의 불편으로 큰 부하관리 효과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다.

2. 본 론

2.1 중앙 관리 서버(CIMS : Central Intelligent Management Server)의 역할 및 구성

CIMS는 태스크들을 모듈화 하고 분담 처리하기 위하여 멀티 에이전트 시스템으로 구성하였다. CIMS에는 전체 태스크 관리 에이전트, 개별부하관리 에이전트, 공용부하관리 에이전트, 기상정보수집 에이전트들이 생성되어 각각 다음과 같은 임무를 수행한다. 먼저 태스크 관리 에이전트는 전력회사의 원격 관리 서버(Remote Management Server: REMS)로부터 전송된 부하 관리 메시지를 해석하여 관리 필요 부하량과 관리 시작 및 종료 시간을 기초로 현재의 기상조건, 단지 내 대체에너지 발전설비가 있을 경우 활용 가능한 전력 및 단지운영에 크게 지장없이 줄이거나 다른 시간대로 천이(shift)가 가능한 공용 부하량을 감안하여 동시에 가동 가능한 냉방기 수에 해당하는 토큰을 발행하고 이를 각 세대의 냉방부하 제어를 담당하고 있는 LIMS에 통보한다. 동시에 현재 냉방기를 가동하고 있는 LIMS 중 시간이 오래된 순으로 발행된 토큰 수에 이를 때까지 순차적으로 LIMS에 부하차단을 지시한다. 또한 냉방기 가동을 원하는 LIMS들에 차례로 토큰을 배정하여 냉방기를 가동할 수 있는 권리를 부여하고 냉방기를 자율 또는 타율로 끄는 LIMS들로부터 토큰들을 회수하여 재 할당하는 작업을 수행하기 위한 큐를 생성하여 관리한다.

공용 부하 관리 에이전트는 관리 가능한 공용부하들을 파악하여 전체부하명령관리 에이전트에 보고 하고 필요시 신속하게 소비 전력량을 줄이는데 협조한다.

기상 정보 관리 에이전트는 기상청으로부터 해당 지역의 일기예보와 실시간 기상 정보를 수집하여 큐

의 운영 정책을 수립하는 데에 필요한 기초 정보를 제공한다.

2.2 로컬 관리 서버(LIMS: Local Intelligent Management Server)의 역할 및 구성

각 세대에 설치되는 LIMS는 집안의 상황을 감안하여 토큰의 신청 여부를 결정하고 토큰을 할당 받아 냉방기를 가동하고 반납하는 임무를 수행한다. LIMS는 지식기반 시스템으로 구성하고 CIMS와의 정보교환을 위한 태스크 관리 에이전트와 실제 부하관리를 담당하는 에너지관리 에이전트를 생성하여 이러한 임무 수행을 담당하도록 한다.

2.3 CIMS와 LIMS간의 정보교환

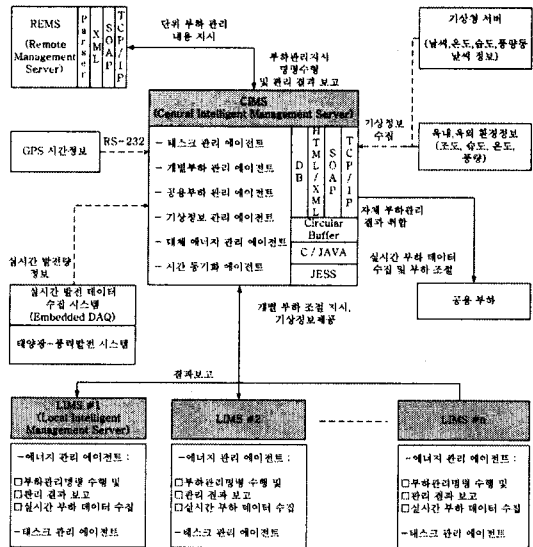


그림 1. CIMS와 LIMS의 구성 및 연결
Fig. 1. Structures and Interconnections of SIMS and LIMS

앞 절에서 설명한 CIMS와 LIMS들의 구성내용과 계층적인 연결 관계를 그림 1에 나타내었다.

LIMS는 CIMS와 서로 정보를 주고받기 위해 서버/클라이언트 기능을 함께 갖춘 구조로 구현하였다. CIMS와 LIMS 간 통신을 위한 인터페이스

로써 TCP/IP 기반의 자바 소켓을 이용하였으며, 정보표현 방법으로는 XML이나 문자열 메시지(string message)를 이용하였다. XML 문서의 파싱(parsing) 방법은 DOM(Document Object Model) 방식을 사용하였다. CIMS로부터의 명령은 주로 부하 관리를 위한 토큰의 신청요구 및 부하 전력보고요구 등이 있고 LIMS들의 응답 및 보고에는 부하 관리 결과, 집안의 온도, 현재의 소비 전력 등이 포함된다. 보내고 받는 정보들은 모두 CIMS와 LIMS시스템 내에 구현되어 있는 에이전트들에 의해 각각 구성되고 파싱(parsing)된다.

2.4 토큰 관리 위한 큐잉(Queueing) 모델 수립

각 LIMS들의 자율적인 의사를 최대한 반영하여 각 세대의 불편을 최소화 하면서도 제한된 목표 부하 관리 전력 이내로 냉방부하들을 운용하기 위한 효과적인 통제 및 제어 기법으로써 각 LIMS는 냉방기를 가동할 수 있는 권리에 해당하는 토큰을 CIMS에 신청하여 토큰을 획득한 LIMS만이 냉방기를 가동할 수 있도록 한다. 이때 토큰을 획득하지 못한 LIMS들은 CIMS가 운영하는 토큰 큐에서 대기하게 된다. 토큰 큐는 다음과 같이 구성한다.

(1) 고객의 형태

토큰을 요청하는 LIMS들이 된다.

(2) 모집단

LIMS의 수로 부하 관리를 하려는 아파트 단지 내의 전세대수가 된다.

(3) 토큰요청 도착 시간 간격

각 LIMS의 토큰 요청 시간 간격은 토큰을 받았던 후 집안의 온도 상승 속도에 따라 랜덤하게 변하며 토큰 요청 도착률이 λ 인 지수 분포를 가지는 것으로 가정한다. 따라서 CIMS의 관점에서 볼 때 전체 도착율은 현재 큐잉 시스템에 들어와 있는 LIMS를 제외한 나머지 LIMS들의 수에 λ 를 곱한 값이 된다.

(4) 서비스 시간 간격

토큰을 할당받은 LIMS가 냉방기를 가동하고 토큰을 반납할 때까지의 시간이 개개의 LIMS에 대한 서비스 시간이 되고 각 세대의 냉방부하에 따라 랜덤하게 변하며 서비스율이 μ 인 지수분포를 가지는 것으로 가정한다. 따라서 큐잉시스템 전체로 보면 토큰 요청 LIMS의 수가 토큰 수보다 적으면 LIMS는 큐에 대기할 필요 없이 그대로 토큰을 할당받아 냉방기를 가동할 수 있게 되고, 그 외의 경우는 토큰 수만큼의 LIMS가 서비스를 받고 나머지 LIMS는 큐에서 대기하게 된다.

(5) 토큰 할당 정책(Policy)

큐에서 토큰을 할당하는 정책으로서 선입선출(First Come First Served(FCFS))을 원칙으로 한다.

큐는 M/M/c/K/m 큐잉시스템으로 모델링하면 c 는 토큰 수이고, m 은 아파트단지의 총 세대수 즉, LIMS의 수가 된다. 위의 각 가정과 정책들은 실제 적용 현장의 상황과 여건에 따라 적절히 조정하여야 한다. 그림 2에 위에 설명한 부하 관리 큐잉시스템을 나타내었다.

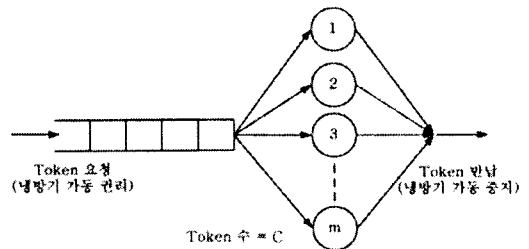


그림 2. 부하관리 큐잉 시스템
Fig. 2. Load Management Queueing System (LMQS)

2.5 예상 대기 시간의 산정

부하관리 큐에 들어와 서비스를 받거나 기다리는 LIMS의 전체수 n 이 변하는 과정은 그림 3에서 보이는 바와 같이 생성 및 소멸과정(Birth and Death Process)으로 나타낼 수 있다.

큐잉모델에 기초한 자물 지능 부하 관리 시스템 연구

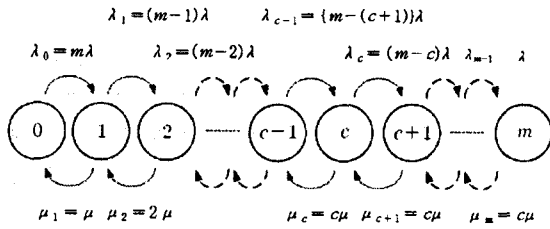


그림 3. 부하관리 큐잉 시스템에서의 LIMS 수의 상태 천이도

Fig. 3. State Transition Diagrams for the Number of LIMS in the LMQS

현재 n 개의 LIMS가 큐에 들어와 있을 때 큐에서 본 도착률(arrival rate) λ_n 과 서비스율(service rate) μ_n 은 각각 다음과 같게 된다.

$$\lambda_n = \begin{cases} (m-n)\lambda & (0 \leq n < m-1) \\ 0 & (n \geq m) \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu & (1 \leq n \leq c) \\ c\mu & (c+1 \leq n \leq m) \end{cases} \quad (2)$$

n 개의 LIMS가 들어와 있을 때의 확률 P_n 을 구하기 위해 평형방정식(balance equation)을 수립하면,

$$P_1\lambda_1 + P_1\mu_1 = P_0\lambda_0 + P_2\mu_2 \quad (n \geq 1) \quad (3)$$

$$P_2\lambda_2 + P_2\mu_2 = P_1\lambda_1 + P_3\mu_3$$

$$\vdots$$

이 되고 P_0 의 경우는

$$P_0\lambda_0 = P_1\mu_1 \quad (4)$$

이 된다.

따라서

$$P_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0 \quad (5)$$

이 되고 반복 대입하면

$$P_n = \frac{\lambda_0\lambda_1 \cdots \lambda_{n-1}}{\mu_1\mu_2 \cdots \mu_n} P_0 = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{i=1}^n \mu_i} P_0 \quad (n \geq 1) \quad (6)$$

이 된다.

여기서

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \quad (7)$$

이므로 식 (6)과 (7)에서

$$P_0 = \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{i=1}^n \mu_i} \right)^{-1} \quad (8)$$

이 된다. 식 (1)과 식 (2)를 적용하여 P_n 을 나타내면

$$P_n = \begin{cases} \frac{m!}{(m-n)!n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 & (1 \leq n \leq c) \\ \frac{m!}{(m-n)!c!c^{n-c}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 & (c+1 \leq n \leq m) \end{cases} \quad (9)$$

이 되고 P_0 는

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{c-1} \frac{m!}{(m-j)!j!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j + \sum_{j=c}^m \frac{m!}{(m-j)!c!c^{j-c}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j \right]^{-1} \quad (10)$$

이 된다.

큐잉 시스템에 들어와 있는 총 LIMS의 수에 대한 기대치 L 은

$$L = E(N) = \sum_{n=0}^m nP_n = m - \sum_{k=0}^m kP_{m-k} \quad (11)$$

이 된다.

n 개의 LIMS가 토큰을 요청한 상태일 때 큐에서 본 도착률(Input rate or effective arrival rate) λ_{eff} 는

$$\lambda_{eff} = \lambda(m-L) = \lambda \sum_{k=0}^m kP_{m-k} \quad (12)$$

이 된다. 큐잉 시스템 내에서의 LIMS의 평균 체제시간 S_t 는 Little's Formula에 의해

$$S_t = \frac{L}{\lambda_{eff}} = \frac{L}{\lambda(m-L)} \quad (13)$$

가 되고 큐에서 대기하고 있는 LIMS 수의 기대치 L_q 는

$$L_q = \sum_{n=c}^m (n-c)P_n \quad (14)$$

가 된다.

따라서 에어컨 가동을 요청한 LIMS가 토큰을 할당받기까지 큐(Queue)에서 대기해야할 시간의 기대치 W_q 는

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda_{eff}} = \frac{L_q}{\lambda(m-L)} \quad (15)$$

가 된다.

3. 사례연구

본 논문에서 제시한 부하 관리 기법을 적용할 경우 예상되는 전력요금 절약 효과를 아래 표 1에서 보 인바와 같이 2005년도 8월 전력 소비량이 1,575,677 [kWh]이고 740세대 규모인 강남의 G 주상복합 아파트를 예로 산정하여 보았다.

표 1. 2005년 8월 G 주상복합 아파트 평균 전기 사용량(단위 : [kWh])

Table 1. Average Electric Power Consumption Record for "G" Apartment Tower Complex in Aug. 2005

일시	세대수	세대당 월평균 사용량	전체 월 사용량	전체 일평균 사용량
'05.8	740	2,126	1,575,677	50,828

그림 4와 같은 우리나라의 전형적인 8월의 일부하 곡선을 사용하여 아파트 단지 전체의 일평균 사용량 50,828[kWh]로부터 피크 시 사용 전력을 약 3,053 [kW] 정도로 산출하였다.

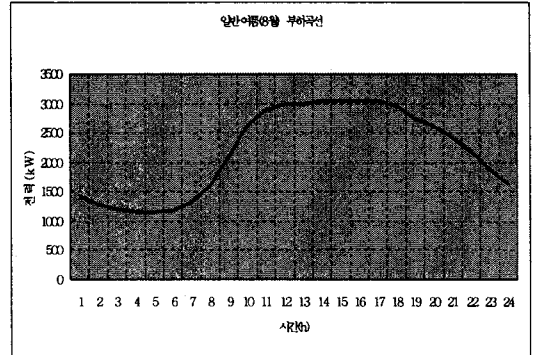


그림 4. 8월 중 일부하 특성 곡선
Fig. 4. Typical Daily Load Curve in August

간접부하 제어 방식 중 하계휴가, 보수 기간 조정 지원 제도는 약정한 부하조정기간(연속 2일 이상)중의 주간 시간대(10~18시)에 최대수요전력을 당해 월 최대수요전력 보다 50[%] 이상 또는 3,000[kW] 이상 감축하는 경우 인센티브를 부여하고 있다. 이 조건을 만족시키기 위해 각 세대내의 냉방 부하들을 대상으로 본 논문에서 제시한 부하관리 제어 기법을 시뮬레이션을 통해 적용해 보았다.

- ① 전체 세대의 당해 월 최대수요전력 : 3,053[kW]
- ② 절감 목표 최대수요전력(①의 50[%] 감축된 최대 수요전력) : 1,526.5[kW]
- ③ 한 세대 당 1대의 냉방부하가 존재하며, 소비 전력은 3[kW]로 동일하다고 가정
- ④ 전체 부하에서 냉방부하 비중을 70[%]로 가정 하면 냉방부하로 인한 총 소비전력은 2,137.1 [kW]이므로, 1,526.5[kW]를 절감시키기 위해서는 냉방부하는 최대 610.6[kW]만 소비하도록 하여야 함.
- ⑤ 따라서 목표 최대수요전력으로 절감하기 위해 필요한 토큰의 수는 $610.6[kW]/3[kW]=204$ 개 내외로 됨.

본론에서 제시한 큐잉 모델을 적용 시 $c=204$, $m=740$ 이 된다. 여기서 세대 당 평균 토큰 요청 시간 간격을 15분, 평균 에어컨 가동 시간을 12분으로 가정 할 경우 LIMS당 평균 토큰 요청 도착률(token request rate) 및 토큰 당 서비스율은 각각 $\lambda=0.0666$ (request/ min), $\mu=0.08333$ (service/ min)가 된다.

큐잉모델에 기초한 자을 지능 부하 관리 시스템 연구

다. 식 (10)에서 P_0 를 계산하고 식 (6)과 (14)를 이용하여 큐에서 토큰을 대기하고 있는 LIMS 수의 평균 기대치 L_q 를 구하면 약 281 LIMS가 되고 큐 (Queue)에서 토큰을 할당 받기 까지 대기하는 시간의 기대치 W_q 는 약 8.7분 정도로 산정되었다. 세대 당 토큰 요청 시간간격을 20분, 에어컨 가동 시간을 18분으로 좀 더 길게 할 경우 각각 $\lambda=0.05$ (request/min), $\mu=0.0556$ (service/min)이 되고 이때는 각각 $L_q=309$ LIMS, $W_q=12.05$ 분으로 되어 큐에서 대기하는 LIMS의 수와 대기 시간은 예상대로 약간씩 증가하는 것으로 나타났다. 본 계산을 수치적으로 가능하게 하기 위하여 식 (9)와 식 (10)을 세분 계산하였다. 상기와 같이 부하관리를 했을 경우 하계휴가·보수기간 조정 지원제도를 통해 받을 수 있는 인센티브 규모를 산출해보면 표 2와 같다.

표 2. 지능 부하관리 기법 적용 시 기대되는 인센티브의 산출(하계휴가·보수기간)
Table 2. Expected Incentive Amount with the Applications of the Proposed Load Management Technique

약정내용	검침 내역
부하조정기간 : 8.1~8.20(20일간)	· 해당 월의 최대수요전력 : 3,053[kW] · 부하관리 기간 중 목표최대 수요전력 : 1,526.5[kW]
· 지원금 : (3,053[kW]-1526.5[kW])×650원/[kW·일] ×20일=19,844,500원	
· 5일 이상 시행 추가지원금(10[%])=1,984,450원	
· 지원금 합계 : 21,828,950원	

제안하는 부하관리 제어 기법을 적용하여 약 2,200만원 내외의 인센티브를 지원받을 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 논문은 수용가의 중앙 관리 서버가 목표 부하관리량에 따라 가동할 수 있는 냉방기의 숫자만큼의 토큰을 발행하고 각 세대의 냉방부하를 제어할 수 있는 로컬서버가 각각 담당하는 집안내의 상황에 따라

자율적으로 토큰을 요청하고 반납하도록 하여 입주자의 불편을 최소화하면서도 자연스럽게 목표 부하율을 유지할 수 있는 부하관리 기법을 제안하였다.

특히 외기 온도와 습도가 높으면서도 목표 부하율이 매우 낮은 경우에도 냉방기의 정지시간이 점차 길어지고 가동시간이 짧아지는 경향이 예상되나, 상황에 따라 수용가들이 공평하게 냉방기를 사용할 수 있도록 큐의 운영정책을 적절히 조정해 나갈 경우, 전력회사가 일방적으로 직접부하관리를 실시하는 상황에 비해 각 수용가가 느끼는 불편함은 훨씬 적을 것으로 예상되면서도 부하관리로 인한 상당금액의 인센티브를 제공받을 수 있어 수용가측면에서는 전기요금을 크게 절감하고, 전력공급회사 측에서는 피크 절감으로 인한 막대한 설비 투자비 절감 효과는 물론 전력계통의 안정적인 운영에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 제안하는 연구결과를 실제 부하관리에 적용 시에는 대상 수용가의 서비스 요청 시간 간격 및 토큰 점유 시간의 데이터를 수집하여 정확한 확률 분포와 모수들의 값을 산출하여야 할 것이다. 향후 수용가가 보다 비싼 요금을 지불하고도 냉방기를 가동하기 원할 경우 냉방부하별 우선순위를 달리하는 복수의 큐를 운영하는 방안 등의 보다 다양한 부하관리 큐에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이 논문은 2004년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

References

- [1] Gellings, C.W. "The concept of demand-side management for electric utilities", Proceedings of the IEEE Volume 73, Issue 10, pp. 1468 - 1470, Oct. 1985.
- [2] Limaye, D.R. "Implementation of demand-side management programs", Proceedings of the IEEE Volume 73, Issue 10, pp. 1503 - 1512, Oct. 1985.
- [3] Jack F. Morris, Frank J. Kern, and Earl F. Richards, "Distribution Automation for the Association of Missouri Electric Cooperatives - A Statewide Evaluation of Load Management", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 24, No.5 September/October 1988.
- [4] J.C. Hwang, "Assessment of Air Condition Load Management by Load Survey in Taipower", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 16, No.4, November 2001.

- [5] Kun-Yuan Huang and Yann-Chang Huang, "Intergrating Direct Load Control With Interruptible Load Management to Provide Instantaneous Reserves for Ancillary Services", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 19, No. 3, August 2004.
- [6] Simple Object Access Protocol(SOAP) 1.1. W3c Note, 8 May 2001, "http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508".
- [7] Universal Description Discovery & Integration Version 3.0 "http://uddi.org/pugs/uddi-v3.0-published-20020719 .htm".

◆ 저자소개 ◆

이승철 (李承哲)

1946년 6월 16일생. 1969년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 재무부 전매청 신탄진 연초제조창 전력 과장. 1980년 현대엔지니어링 기전사업부 차장. 1982년 미국 Univ. of Florida 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 박사졸업. 1995년 미 테네시대 항공우주대 학원 전기 및 컴퓨터 공학과 교수. 현재 중앙대 공대 전자전기공학부 교수.
 Tel : (02)820-5325
 Fax : (02)826-1103
 E-mail : sclee@cau.ac.kr

홍창호 (洪唱湖)

1974년 3월 11일생. 1998년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기 공학부 박사과정.
 Tel : (02)826-2614
 E-mail : knight75t@paran.com

김경동 (金慶東)

1972년 7월 18일생. 1995년 홍익대 공대 전기공학과 졸업. 99년 한양 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 중앙대 대학원 전자전기 공학부 박사과정.
 E-mail : kyungdong.kim@siemens.com

이인용 (李寅鎔)

1963년 1월 24일생. 1989년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1992년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 중앙대 대학원 전자전기 공학부 박사과정.
 E-mail : leei@kopo.ac.kr

박찬업 (朴燦巖)

1977년 5월 8일생. 2001년 강원대 제어계측공학과 졸업. 2003년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(박사).
 E-mail : cepark1@wm.cau.ac.kr