

## An New Load Control Algorithms based on Power Consumption

김 정 욱\*  
(Jeong-Uk Kim)

**Abstract** - This paper presents an advanced energy saving algorithm in building. It is important to aggregate a various demand side resource which is surely controllable at the peak power time to reduce the energy cost. Previous demand side algorithm appropriate for building is based on peak power. In this paper, we develop the new energy saving algorithm to reduce the quantity of power consumption. The simulation results show that the proposed tem is very effective.

**Key Words** : Quantity of power consumption, Load control, Energy saving, Building energy

### 1. 서 론

에너지다소비 사회로 진입한 우리나라는 비용효과적인 에너지정책의 수립이 필요하다. 수요관리는 전력수요를 합리적으로 조절하여 부하율 향상을 통한 원가절감과 전력 수급안정을 도모함과 동시에 국가적인 에너지자원 절약에도 기여한다. 지금까지의 수요관리 정책은 첨두부하 억제를 위한 심야전력활용, 최대수요전력제어, 직접부하제어, 원격제어에어컨 등의 방법이 제시되어 왔다.[1][2]

개별 수용가를 위한 수요관리 방안으로는 가격대비 성능이 우수한 최대수요전력제어기가 활용된다.[3] 최대수요전력 제어기는 수용가의 첨두부하 억제를 통한 기본요금의 절감을 목표로 하나, 개별 수용가의 전력비용을 절감하기 위하여는 기본요금의 절감과 함께 사용요금의 절감도 필요하다.

본 연구에서는 첨두부하 억제를 위한 최대수요전력제어기의 운영 방식 및 제어 알고리즘을 고찰하고, 전력사용량을 억제하기 위하여 최대수요전력 제어 방법을 활용한 새로운 알고리즘을 제시한 후에 시뮬레이션을 통하여 제시된 방법의 시뮬레이션 시험 결과를 보이도록 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 최대수요전력제어기

최대수요전력제어기(Demand Controller)는 수용가의 수요전력을 관리하여 전력요금을 절감시키는 기기이다. 현재 전력이 설정된 목표전력을 초과할 것으로 예상될 경우 팬, 조명, 에어컨, 냉동기, 펌프, 공조기 등 차단 가능한 부하를

자동으로 차단하고 현재전력이 목표전력 이하로 내려가거나, 수요시간이 끝나면 자동으로 부하 전원을 투입시켜 최대수요전력을 목표값 이하로 관리한다. 한국전력은 과거 12개월 중 가장 크게 발생한 수요전력(최대수요전력)을 기준으로 기본요금을 부과하고 있다. 수요전력은 일정한 시간(수요시간) 내의 평균전력으로, 수요시간 내의 사용 전력량을 사용 시간으로 나누어 구해진다. 우리나라의 경우는 수요시간을 15분으로 적용하고 있다. 따라서 [수요전력 = 수요시간내의 사용전력량(kWh) X 4] 이다.

최대수요전력제어기의 동작은 다음과 같다.

- 1) 전자식전력량계에서 출력되는 펄스의 수를 계수하여 현재전력을 구한다.
- 2) 현재전력과 기준전력 그리고 남은 수요시간 등을 적용하여 예측전력과 조정전력을 계산한다.
- 3) 현재전력과 기준전력, 조정전력의 관계에 의해 미리 정해진 방식에 따라 부하를 제어한다.
- 4) 조정전력에 여유가 있으면 미리 정해둔 제어방식에 따라 부하를 자동으로 복귀시킨다.

#### 2.2 최대수요전력 관리 방안

수용가의 최대수요전력을 합리적으로 관리하기 위한 지침은 다음과 같다.

- 1) 수용가의 설비 구성형태 및 부하 사용특성을 면밀하게 검토하여 최대수요전력 발생 시간대의 제어 가능 부하를 검토한다.
  - 제어 가능한 부하기기의 선정
  - 부하기기의 가동, 동작특성 및 부하변동의 대소
  - 계절에 따른 부하변동의 변화(운전, 휴지)
- 2) 일반 업무용 빌딩이나 백화점, 대형 할인점등의 경우 조명설비 및 냉난방 설비, 공조설비 등이 주 제어 대상 부하이며 제조업체의 공장에서는 생산에 영향을 주지않기

\* 정 회 원 : 상명대학교 에너지그리드학과 조교수

E-mail : jukim@smu.ac.kr

접수일자 : 2010년 3월 8일

최종완료 : 2010년 7월 9일



온도가 급변하는 경우에는 냉난방 부하가 급변하게 되므로, 전력데이터의 추이가 급변하게 된다. 이에 대한 보정은 추후의 연구에서 다루도록 한다.

### 3.2 부하제어

일일 전력사용량을 제어하기 위하여 15분 단위로 목표전력량을 설정하여 최대수요전력제어를 수행하도록 한다. 수요시한 동안 부하제어가 수행된 경우에 수요시한의 경과 후에는 부하복귀를 수행한다.

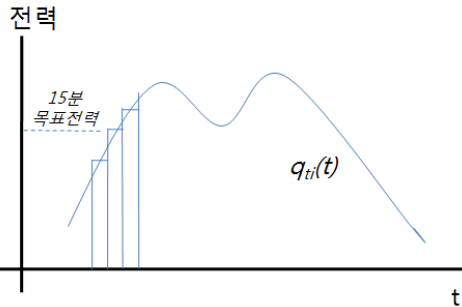


그림 4 목표전력 곡선과 15분 목표전력  
Fig. 4 Expected Power Consumption Curve and 15 minutes Expected Power Consumption

부하제어는 조정전력할당량을 기반으로 하여, 부하의 정격용량 또는 사용량을 기반으로 부하를 배분하고, 부하제어를 실행하게 된다. 제어가능한 부하의 예는 다음과 같다.

- 1) 조명부하 : 공용공간, 근무공간의 준별 격등 구성 등
- 2) 사무용기기 : 냉장고, 복사기, 선풍기
- 3) 냉난방부하 : 공용공간 온도조절, 근무자 zone별 온도조절, 냉동기·보일러 ON/OFF

개별 부하가 가지는 고유한 제어 특성으로 인하여 부하제어시 제한 사항을 가지고 있으며, 이에 대한 사례는 아래 표와 같다. 부하제어 시의 제한 사항은 현장 상황에 맞추어 설정하여야 한다.

표 1 부하제어 제한 사례

Table 1 Restricted Case for Load Control

부하	구분	현재값	제한사례	지속시간	제어방향
부하1	A	ON			
부하2	A	OFF			
부하3	B	ON	ON지속시간 10분	8	
부하4	B	OFF	OFF지속시간 5분	8	
부하5	C	26	상한값 28		+
부하6	C	22	하한값 20		-

최대수요전력제어 알고리즘을 적용하는 경우에 너무 이르거나 빠른 시점에 예측제어를 하면, 목표치를 초과하거나 미달하게 되는 문제가 있다. 전력사용량제어는 최대수요전력제어와는 달리 근무시간 중에 지속적으로 수행되므로, 빈번한 제어를 억제하여 사용자의 운용환경에 미치는 영향을 최소화하도록 한다.

### 3.3 부하복귀

부하특성에 따라 부하복귀를 수행한다. A 타입은 제한이 없으나, B 타입은 지속시간 경과 후에 복귀를 한다. C 타입은 원래의 설정치로 복귀한다.

### 3.4 전력사용량 예측 곡선 보정

수요시한 동안의 실제 전력사용량에 따라 다음 수요시한의 목표전력량을 재설정한다.  $q_{ti}(t)$ 를  $t > t_i$  이후의 전력예측곡선, 실제 사용된 전력 곡선을  $s(t)$ 라 하자. 보정된 전력예측곡선은 다음 그림과 같이 당초의 예측 곡선에 비례한다.

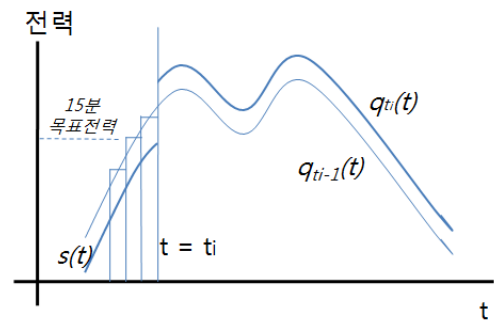


그림 5 전력사용 예측곡선 보정  
Fig. 5 Modification of Expected Power Consumption Curve

따라서,  $q_{ti}(t) = a_{ti} \cdot q_0(t)$  여기서,  $q_0(t) = ae(t)$ 이다.

$$t=0 \text{ 시점에서 } Q = \sum_{t \leq t_i} q_0(t) + \sum_{t > t_i} q_0(t) \text{ 이고,}$$

$$t=t_i \text{ 시점에서 } Q = \sum_{t \leq t_i} s(t) + \sum_{t > t_i} q_{ti}(t) \text{ 이다.}$$

$$\sum_{t \leq t_i} q_0(t) + \sum_{t > t_i} q_0(t) = \sum_{t \leq t_i} s(t) + \sum_{t > t_i} q_{ti}(t) = \sum_{t \leq t_i} s(t) + \sum_{t > t_i} a_{ti} \cdot q_0(t)$$

$$\therefore a_{ti} = \frac{\sum_{t \leq t_i} q_0(t) + \sum_{t > t_i} q_0(t) - \sum_{t \leq t_i} s(t)}{\sum_{t > t_i} q_0(t)} = \frac{\sum_{t \leq t_i} q_0(t) - \sum_{t \leq t_i} s(t)}{\sum_{t > t_i} q_0(t)} + 1 \quad (4)$$

본 논문에서 제시한 알고리즘에는 두 개의 양 극한이 존재한다. 전력사용 예측곡선에도 불구하고, 실제 전력사용이 없는 경우에는 시간이 지날수록 재설정된 목표 전력량은 커진다. 이 경우에 실제 사용량은 변동이 없으므로, 문제가 없다. 반대로 최대수요가 지속되면서 차단 가능한 전력 부하가 없는 경우에는 시간이 지날수록 재설정 목표 전력량은 작아진다. 이 경우에 차단 가능한 부하에 대하여는 지속적인 차단이 수행되게 되므로, 부하제어 시의 제한 사항 설정이 중요해진다.

## 4. 시뮬레이션

전력사용량 제어 알고리즘의 유효성 검증을 위하여 아래와 같은 테스트베드를 제작하였다.

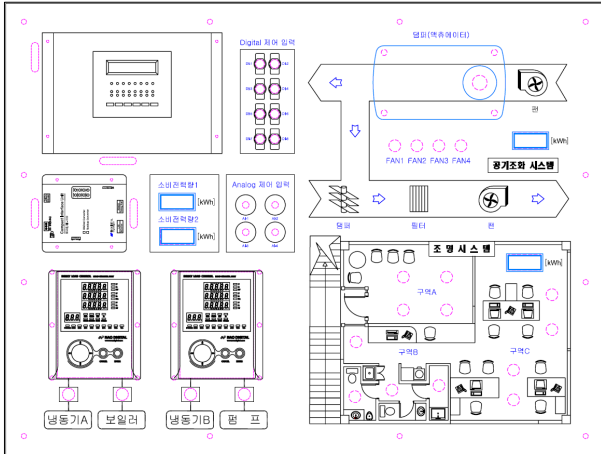


그림 6 전력사용량 제어 테스트베드

Fig. 6 Testbed for Control Algorithm of Reducing Power Consumption

시뮬레이션에서는 FAN 4개와 조명으로 4개를 제어가능한 부하로서 할당하였다. 테스트베드는 설치 현장에 적합한 로직을 사전에 시뮬레이션할 수 있다는 장점이 있다. 9시~18시 목표전력량 및 부하 패턴은 시뮬레이션을 위하여 가상으로 생성하였다. 당일 목표전력량은 23.5kWh이며, 당일의 부하는 30.328kWh, 제어가능부하는 21.328kWh이다.

표 2 목표전력량 및 부하패턴

Table 2 Expected Power Consumption and Load Pattern

(단위 : kWh)

구분 \ 시	9	10	11	12	13	14	15	16	17	합계
목표전력량 (kWh)	1,500	2,000	3,000	3,500	3,500	3,500	3,000	2,000	1,500	23,500
부하 패턴	합계	2,920	3,184	3,360	3,800	3,800	3,360	3,184	2,920	30,328
	기저 부하	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9,000
	제어가능부하	1,920	2,184	2,360	2,800	2,800	2,800	2,360	2,184	21,328

표 3 제어가능부하

Table 3 Controllable Load

(단위 : kWh)

구분 \ 시	9	10	11	12	13	14	15	16	17	합계	
제어가능부하	FAN <sub>1</sub>	0	66	110	220	220	220	110	66	0	1,012
	FAN <sub>2</sub>	0	66	110	220	220	220	110	66	0	1,012
	FAN <sub>3</sub>	0	66	110	220	220	220	110	66	0	1,012
	FAN <sub>4</sub>	0	66	110	220	220	220	110	66	0	1,012
	조명 <sub>1</sub>	160	160	160	160	160	160	160	160	160	1,440
	조명 <sub>2</sub>	320	320	320	320	320	320	320	320	320	2,880
	조명 <sub>3</sub>	320	320	320	320	320	320	320	320	320	2,880
	조명 <sub>4</sub>	480	480	480	480	480	480	480	480	480	4,320
	조명 <sub>5</sub>	640	640	640	640	640	640	640	640	640	5,760

시뮬레이션은 수요시한을 1시간으로 설정하고, 매시간 다음 과정을 반복수행하였다.

- 전력량이 목표전력량의 50%에 도달하는  $t_1$  시간을 산정한다.
- $(60-t_1)$  시간 동안의 목표전력량으로부터 목표전력을 산정하고 실부하에서 목표전력을 차감하여 차단전력을 산정한다.
- 차단전력을 상회하는 차단가능한 부하를 선정한다. 실부하에서 차단가능한 부하를 차감하여 실제 가동부하를 산정한다.
- $(60-t_1)$  시간 동안의 실사용전력량을 산정한다.
- 목표전력량과 실사용전력량의 차이를 다음 시간대의 목표전력량에 더한다.(알고리즘의 단순화를 위하여 다음 시간대에만 반영하였다.)

표 4 시뮬레이션 결과

Table 4 Simulation Results

(단위 : kWh)

시간 구분	9	10	11	12	13	14	15	16	17	합계	
목표전력량	1,500	2,007	3,009	3,508	3,531	3,520	3,010	2,009	1,510	23,604	
$t_1$ 시간	15.4	18.9	26.9	27.7	27.9	27.8	26.9	18.9	15.5		
$(60-t_1)$ 시간 목표전력량	1,009	1,465	2,724	3,258	3,298	3,279	2,726	1,467	1,019	20,245	
차단목표	1,911	1,719	636	542	502	521	634	1,717	1,901	10,083	
차단 부하	합계	1,920	1,732	650	600	540	540	650	1,732	1,920	10,284
	FAN <sub>1</sub>						220	110	66		396
	FAN <sub>2</sub>			110		220			66		396
	FAN <sub>3</sub>		66	110	220			110			506
	FAN <sub>4</sub>		66	110	220			110			506
	조명 <sub>1</sub>	160	160		160				160	160	800
	조명 <sub>2</sub>	320		320			320	320	320	320	1,920
	조명 <sub>3</sub>	320	320			320				320	1,280
	조명 <sub>4</sub>	480	480						480	480	1,920
	조명 <sub>5</sub>	640	640						640	640	2,560
가동부하	1,000	1,452	2,660	3,160	3,160	3,160	2,660	1,452	1,000	19,704	
$t_1$ 시간 사용전력량	750	1,003	1,505	1,754	1,766	1,760	1,505	1,004	755	11,802	
$(60-t_1)$ 시간 사용전력량	743	996	1,473	1,705	1,705	1,705	1,473	996	743	11,537	
실전력량	1,493	1,998	3,001	3,477	3,511	3,510	3,001	1,998	1,497	23,486	

### 5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 전력사용량 기반의 새로운 에너지절감 알고리즘을 제시하였다. 지금까지의 에너지절감 알고리즘은 최대수요를 억제하여, 기본요금을 절감하는데 주안점을 두었으나, 본 알고리즘은 사용요금의 절감에 기여할 수 있다. 알고리즘을 구현하고, 시뮬레이션을 통하여 알고리즘을 검증하였다. 최근 고유가로 인하여 효율적인 수요관리자의 필요성이 점차로 커지고 있다. 사용량 기반의 에너지절감 알고리즘은 빌딩의 효율적인 운영에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김형중, et al., “직접부하제어 시스템의 운영 및 구성방안”, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 627-629, 2003.
- [2] 김진호, et al., “직접부하제어자원의 활용방안에 대한 연구”, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 606-608, 2003.
- [3] 김정욱, “직접부하제어 시스템의 새로운 부하 배분 알고리즘“, 대한전기학회 논문지, pp. 407-410, 2010.
- [4] 조성원, “신경망과 퍼지논리를 이용한 최대수요전력 제어시스템에 관한 연구“, 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, pp. 420-425, 1999.

---

## 저 자 소 개



### 김 정 욱 (金 政 郁)

1993년 2월 한국과학기술원 전기전자공학(공학박사), 1989년 2월 한국과학기술원 전기전자공학(공학석사), 2007년 3월-현재 호서대학교 벤치전문대학원 교수, 정보관리기술사/정보통신기술사/정보시스템감리사

<관심분야> : 수요관리, 신재생에너지