

수요 반응에서 가정용 전력기계의 최적화된 스케줄링 기법

정회원 김 태 완*, 이 성 진*, 종신회원 이 상 훈*

Optimization of Home Loads scheduling in Demand Response

Taewan Kim*, Sungjin Lee* *Regular Members*, Sanghoon Lee* *Lifelong Member*

요 약

최근 전 세계적으로 많은 관심을 받고 있는 스마트 그리드는 기존 전력망의 에너지 효율을 최적화하고자 하는 차세대 전력망을 말한다. 그 중에서 수요 반응(Demand Response)은 현재 전력망과 차별화되는 핵심 기술이다. 가정에서 전력 요금의 최소화 및 사용자의 만족도를 최대화하기 위해, 본 논문은 가정에서 사용하고 있는 여러 종류의 전력 기계의 특성을 활용하여, 최적화 문제를 통한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 여러 전력 기계의 소비 패턴을 수학적 모델로 유도하였으며, 하루 동안 각 시간에서 전력 기계의 중요도에 따른 최적화된 스케줄링 기법을 제안한다. 실제 통계 수치를 활용한 본 논문의 실험 결과에서는 제안하는 최적화 스케줄링 알고리즘이 전력 요금을 최소화하는 유틸리티에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

Key Words : Smart Grid, Demand Response, Smart meter, Optimization, Home loads scheduling

ABSTRACT

In recent years, the smart grid technique for maximizing the energy efficiency of power networks has received a great deal of attentions. In particular, the Demand Response is a core technology differentiated from the present power network under the smart grid paradigm. To minimize the electric cost and maximize users' satisfaction, this paper proposes a unique scheduling algorithm derived by using optimization where the characteristics of various home appliances are taken into account. For this goal, we represent mathematical consumption patterns of the electric loads and propose the optimal scheduling scheme based on the importance factor of each device during one day. In the simulation results, we demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm in the viewpoint of the minimal electric costs utilizing real statistical figures.

1. 서 론

최근 환경오염 및 고유가 문제를 극복하고자 자원의 효율적, 환경 친화적 이용에 초점을 맞춘 그린 IT 기술 개발의 중요성이 대두되고 있다.

현재까지 IT 산업은 장비의 성능 향상 및 디자인에 많이 집중되었으나 전력소비 및 친환경적인 면에 대

한 우려는 상당부분 반영되지 못하고 있는 것이 사실이다. 따라서 IT분야의 사용자들은 환경 문제 및 에너지 소비에 대해 좀 더 많은 관심을 가지면서 발전해 나가야 하며, 그 중 스마트 그리드(Smart Grid)는 선택이 아닌 필수로 기술로 여겨지고 있다^[1]. Smart Grid는 기존 전력망에 IT 기술을 접목해 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원사업" 의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C6150-1001-0013)

* 연세대학교 무선네트워크 연구실 (enoughrice21@yonsei.ac.kr, elflee@yonsei.ac.kr, slee@yonsei.ac.kr)
 논문번호 : KICS2010-05-233, 접수일자 : 2010년 6월 3일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 2일

에너지 효율을 최적화하고자 하는 차세대 전력망을 말한다. 현재의 중앙 집중형, 일방향인 전력 계통의 비효율성을 극복하기 위한 것으로, 분산 전원 시스템을 핵심 개념으로 한다.

신재생 에너지를 중심으로 하는 다양한 분산 전원이 도입되어 전력 계통을 규모에 따라 분산적이고 독립적으로 운영할 수 있는 유연한 형태를 갖추게 되며, 각 계통에 센서, 미터들을 장착하여 소비자의 요구에 실시간으로 반응하는 지능화된 전력망이다. 전력 산업의 패러다임이 양에서 질로, 공급 중심에서 수요 중심으로, 중앙 집중에서 지역 분산으로 100년 전 기술이 전력 IT기술로 변화하는 것을 의미한다. 미래의 전력망이 분산된 네트워크 구조를 가진다는 점에서 스마트 그리드는 에너지 분야의 인터넷과 같은 역할을 수행한다고 볼 수 있다^[2].

그 중에서 가장 중요한 것은 사용자의 자발적인 에너지 절약에 참여하는 것이다. 이에 대해 스마트 그리드는 수급 상황별 차등 요금제를 적용하여 전력 수요를 분산시키는 수요반응 (Demand Response)이 매우 중요하다^{[3][4][5]}. 이는 현재의 전력망과 차별화 되는 핵심 프로그램으로써 전력 수요에 따라 가격을 실시간으로 결정해서 수요자에게 알려주고, 수요자가 이를 근거로 전력 사용량을 효과적으로 조절하도록 해 주는 시스템이다. 이에 따라 수요자는 실시간 요금제, 차등 요금제에 맞게 전력 소비 형태를 바꾸게 되며, 수요 반응 시스템은 이러한 수요자의 반응에 따라 발전량을 제어하는 정보를 사업자에게 제공한다. 또한 수요자가 자신의 에너지를 직접 관리할 수 있고, 전력 품질의 측정과 데이터 저장이 가능하며, 수요자의 프로그램 설정에 따라 자동으로 부하를 제어하는 기능을 갖추게 된다. 기존의 수요 반응의 연구들을 살펴보면 주로 에어컨 또는 난방기 등의 한 종류의 전력 기계를 고려한 스케줄링 기법을 소개하고 있다^{[6][7]}. 논문^[6]에서는 relaxed dynamic programming 알고리즘을 사용하여 air-conditioner load(ACL)의 최적화(optimal) 또는 준최적화(near-optimal)한 하루 단위의 계획(daily scheduling)을 제안하였다. 이 연구에서는 demand control, cycling control, timer control을 포함하는 전통적인 ACL의 제어 형태를 사용하여 고객(customer)의 전력 요금을 절약하는 방법뿐만 아니라, dispatch period 동안에도 요금을 절약할 수 있는 방법을 제안하고 있다. 또한 논문^[8]에서는 최종 수요자(end-user)의 불편도를 최소화 하는 연구도 추가적으로 진행한 새로운 load control 방법을 소개하고 있다. 여기서는 stochastic optimization problem을 통해

demand-side management program의 효율성을 확인할 수 있다. 이와 같이 특정한 한 종류의 전력 기계만을 고려한 스케줄링 기법을 제안하고 있지만, 실생활에서 많이 사용하는 모든 기계를 고려한 연구들은 아직 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 전력 사용량의 통계 수치를 최적화 문제에 적용하고, 사용자의 불편도를 고려한 스케줄링 알고리즘을 제안함으로써 요금의 최소화 및 사용자의 만족도를 최대화 할 수 있도록 한다. 이는 기존의 스마트 그리드와 관련된 수요 반응 방법보다 성능이 뛰어난 결과를 얻을 수 있다.

II. System Model and Pattern Analysis of Home Loads

가정에서 사용하는 전력 기계의 종류는 매우 다양하다. 하루 24시간을 기준으로 항상 켜두어야 하는 특징을 갖는 냉장고 뿐만 아니라, 낮 시간에 사용 빈도가 높은 에어컨 등 각 전력 기계의 특징을 분석할 필요가 있다.

2.1 Home Area Network Model

가정용 네트워크 HAN (Home Area Network)는 총 N 종류의 전력 기계 및 각 전력 기계의 정보를 수집하고 처리하는 중앙 처리장치 역할을 수행하는 스마트 미터 (smart meter)로 구성되어 있다. 각 전력 기계에는 전력 용량 및 사용 패턴 등을 파악하는 load meter가 장착되어 있으며, 이는 하나의 안테나(single antenna)를 사용한다. load meter는 smart meter와 무선통신을 하며, 기존에 가장 많이 사용되고 있는 Zigbee/IEEE 802.15.4 표준을 따르고 있다고 가정한다. 실제로 이는 스마트그리드와 관련하여 home automation 및 zigbee smart energy profile을 만들어 telecommunication applications, personal home,

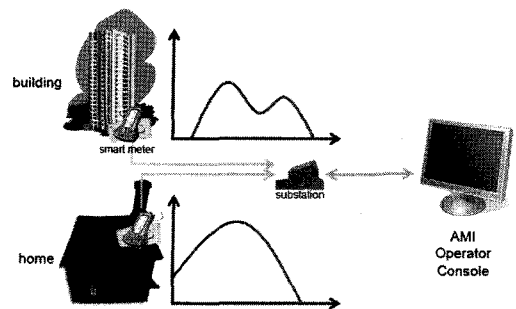


그림 1. 수요 반응(Demand Response) Program

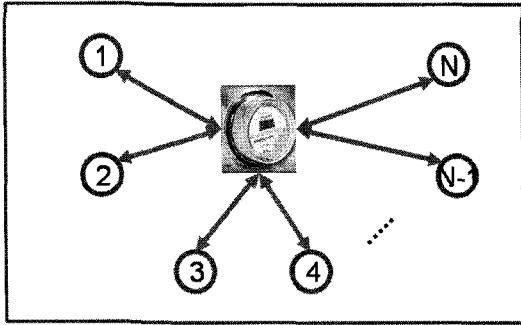


그림 2. HAN System Model

hospital care, 그리고 building automation 등에서 사용되고 있다^[9]. 무선통신 방법으로는 CSMA/CA 방식을 사용하며, 기존의 WPAN보다 secure한 physical layer로 AES-128 를 사용한다.

2.2 Parameter Description

본 논문에서 사용하는 시스템 파라미터들을 아래의 표 1과 같이 정의한다.

하루 24시간을 1시간씩 총 24개의 time period로 나누며, 이를 control period라고 정의하고, T 로 표기한다. 전력 기계의 ON/OFF 상태를 결정짓는 state 함수, S_{ij} 는 i 번째 전력 기계가 해당 time period j 에서 ON 상태일 경우, 1의 값을 가지며, 반대로 OFF 상태일 경우 0의 값을 갖는다.

또한 수요 반응에서 중요한 목표 중 하나는 전력 요금을 최소화 하는데 있기 때문에 전력 요금을 구하는 식을 정의할 때, 전력 요금의 전력 용량(capacity)

표 1. System parameter for Scheduling

Parameter	정의
N	전체 전력 기계 개수
i	기계 색인 (index)
T	전체 control period 수
j	시간 색인 (index)
$f_i(t)$	i 번째 전력 기계의 패턴 함수
α_{ij}	time period j 에서의 i 번째 전력 기계의 중요도 ($0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$)
S_{ij}	time period j 에서의 i 번째 전력 기계의 상태 함수 ($S_{ij}=1$: ON state, $S_{ij}=0$: OFF state)
C_i	i 번째 전력 기계의 normalized capacity ($0 \leq C_i \leq 1$)
k	전력 요금 한계 값 (threshold value)

의 합으로 가정할 수 있다^[6]. 하지만 이 값은 다양한 종류의 전력 기계가 있을 경우, 수치 값의 차이가 크게 발생하여 최적화 문제 해결에 있어 최적의 해로 해석하기 힘든 경우가 발생한다. 즉, 전력 용량이 아주 큰 전력 기계의 경우 control period동안 단 한번도 ON상태가 있을 수 없는 경우가 최적의 해로 선택될 가능성이 크다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 총 N 개의 전력 기계들의 전력 용량을 다음과 같은 식으로 정규화하여 사용하여 위의 문제점을 해결한다.

$$C_i = \frac{capacity_i}{\sum_{i=1}^N capacity_i} \tag{1}$$

2.3 Consumption Pattern Modeling

각 가정용 전력 기계는 통계적인 수치를 이용하여 시간 t 에 관한 사용 pattern 수식 $f_i(t)$ 을 찾아 낼 수 있다. 이 식은 해당 시각에 각 전력 기계가 갖고 있는 모든 사용자들 중에서 ON상태를 유지하는 사용자들의 비율 값을 연결한 곡선의 식이 된다. 실제 통계 수치를 이용하여 다항함수(polynomial function)으로 근사화 하는 것은 쉽고 정확하게 할 수 있으나, 하루를 주기로 전력 기계를 사용하는 특성을 고려하여 본 논문에서는 삼각함수(trigonometric function)으로 모델링 한다. 이는 실제 수치와 다소 오차가 발생할 수 있으나, 삼각함수 $f(t) = a \sin(bt + c)$ 에서 주기 T' 의 값을 $\frac{2\pi}{b}$ 를 가지는 특성을 이용하기 위함이다. 따라서 $f_i(t)$ 은 계수 a, b, c, d 를 조절하여 0과 1사이의 값을 가지며, 1의 값과 가까울 수록 해당 시간동안 사용하는 비율이 높다는 것을 의미하며, time period j 에서 전력 기계 i 의 중요도 값을 α_{ij} 로 표기하며, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\alpha_{ij} = \int_j f_i(t) dt \tag{2}$$

따라서 ON상태를 갖는 전력 기계들의 α_{ij} 의 합을 전력 요금의 제한안에서 최대화 하는 것이 최적화 문제의 목적함수로 정의할 수 있다. 실제로 아래의 그림은 2006년 대한민국(Korea)의 대표적인 두 종류의 가정용 전력 기계의 사용패턴 그림이다.

위의 그림 3에서 TV의 사용 패턴 함수 $f_i(t)$ 는

$$f_1(t) = 0.44 - 0.42\cos\left(\frac{\pi t}{7} - \frac{\pi}{5}\right) - 0.35\sin\left(\frac{\pi t}{10} - \frac{\pi}{5}\right) \quad (3)$$

로 근사화 모델링 할 수 있으며, 그림 4에서 컴퓨터의 사용 패턴 함수 $f_i(t)$ 는

$$f_2(t) = 0.25 - 0.20\cos\left(\frac{\pi t}{20} - \frac{\pi}{5}\right) - 0.05\sin\left(\frac{\pi t}{6} - \frac{\pi}{5}\right) \quad (4)$$

그림 5에서 세탁기의 사용 패턴 함수 $f_i(t)$ 는

$$f_3(t) = 0.10 + 0.05\cos\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{10}\right) - 0.04\sin\left(\frac{\pi}{7}t + \frac{\pi}{10}\right) - 0.03\cos\left(\frac{\pi}{10}t\right) \quad (5)$$

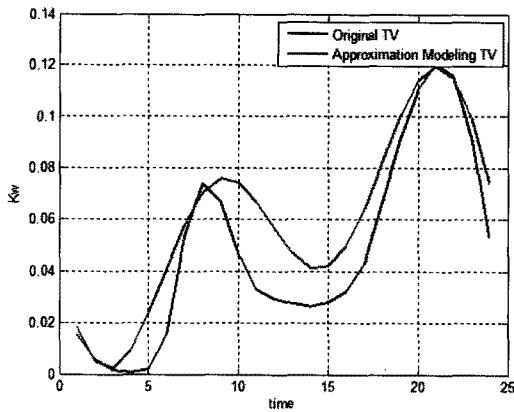


그림 3. TV의 사용 패턴 함수 모델링

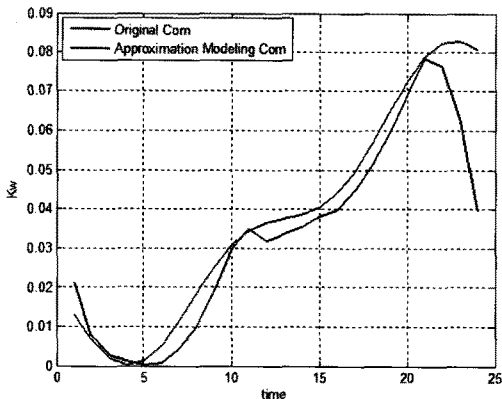


그림 4. Computer의 사용 패턴 함수 모델링

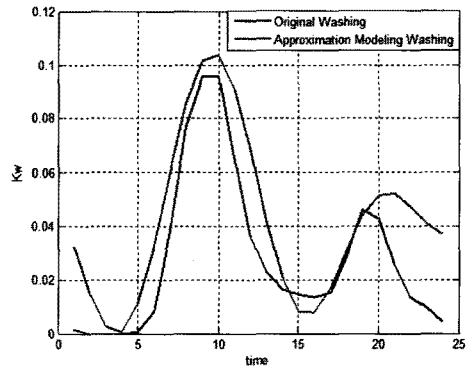


그림 5. 세탁기의 사용 패턴 함수 모델링

로 근사화 모델링 할 수 있다.

III. Optimization of Home Load Scheduling

3.1 Problem Formulation

앞서 설명한 system model에서 가정한 HAN의 전력 요금의 제약조건을 고려한 사용자의 만족도를 최대화하는 최적화 문제는 식 (6)과 같으며, 그 전에 결정 변수를 정의하기 위해 다음과 같은 벡터를 정의 한다.

$$\bar{S} = [S_{ij}]_{N \times T}, \quad \bar{\alpha} = [\alpha_{ij}]_{N \times T},$$

$$\bar{C} = [C_i]_{N \times 1}, \quad S_{ij} \in \{0, 1\},$$

$$0 \leq \alpha_{ij} \leq 1, \quad 0 \leq C_i \leq 1$$

$$\bar{S}^* = \arg \max_{\bar{S}} \bar{\alpha} : \bar{S}$$

$$s.t. \quad \bar{C}^T \bar{S} \leq \bar{K} \quad (6)$$

$$where \quad \bar{K} = [k]_{1 \times T}$$

위의 문제에서 두 벡터 \bar{A} 와 \bar{B} 의 $\bar{A} : \bar{B}$ 의 연산은 Frobenius inner product이며, 다음과 같은 정의를 가진다.

$$\bar{A} : \bar{B} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T A_{ij} B_{ij} = trace(\bar{A}^T \bar{B}) \quad (7)$$

위의 최적화 문제에서 볼 수 있듯이 상태함수 S_{ij} 의 값은 0 또는 1 중의 값을 가져야 하기에 기존의

0-1 knapsack problem과 유사하게 생긴 것을 확인할 수 있다.

최적화 문제에서 먼저 목적함수를 살펴보면 α_{ij} 와 상태함수 S_{ij} 의 곱을 모든 전력 기계와 모든 time period에서의 합이 최대화 한 것을 목표로 한다. 이러한 부하 관리를 통해 전체 시스템의 피크 부하(peak load)를 줄여줄 수 있다. 본 논문에서는 목적함수에서 사용자의 이득을 최대화 하면서, 제약 조건에서 전력 요금을 조절해주는 최적화 문제로 설정한다.

즉, 제약 조건을 살펴보면 전력 요금을 한계값(k) 값을 넘기지 않도록 하고 있다. 목적함수의 값을 최대화 해줄 수 있는 경우는 모든 load의 상태를 ON으로 하는 경우가 최적의 해로 결정된다. 따라서 전력 요금을 고려하기 위해 적절한 k 값을 정하여 문제를 해결한다.

3.2 Optimal Scheduling Solution

앞에서 설정한 최적화 문제를 해결하기 위해, 기존의 0-1 knapsack 문제의 해결 방법을 응용한다. 사용자는 최대한 많은 전력 기계를 사용하고자 하며, 제한 조건은 전력 요금이다. 따라서 각 시간 time period마다 전력 요금에 대한 전력 기계의 중요도 비율을 계산하여, 높은 순으로 정렬하여 준다. 즉 $\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$ 의 값을 각 time period마다 계산한다. 이를 이용한 문제 해결 알고리즘은 다음과 같은 순서를 따르며, 전력 요금의 한계값을 넘지 않을 경우 계속 반복하게 되어, 부하 관리(load management)를 수행하게 된다.

각 time period내에서 $\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$ 값이 가장 큰 값을 갖는 전력 기계의 index를 1로 설정하여 준다. 즉 i 값이 1을 갖는 전력 기계는 해당 time period내에서 가격 대비 중요도가 가장 높은 기계가 되며, 제안하는 스케줄링 알고리즘은 이 값이 높은 순서부터 전력 요금의 제한범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 ON 상태를 선택하게 된다. 따라서 time period내에 ON 상태의 전력 기계의 개수는 임의로 하게 된다.

IV. Analysis of Home Load Scheduling

제안하는 가정용 전력 기계의 최적화된 스케줄링 기법의 성능을 알아보기 위해 많이 사용하는 5가지 종류의 전력 기계를 선정한다. 여기에는 실제 상황과 유사한 환경을 고려하기 때문에 하루 동안 항상 ON

상태를 유지해야 하는 냉장고를 포함한다. TV, 컴퓨터, 세탁기, 에어컨, 냉장고 및 스마트 미터가 HAN에 존재한다고 가정하며, 각 전력 기계의 전력 용량 및 2006년 한국 전력 통계 자료를 이용한 사용 패턴 그래프는 그림 6과 같다. 이 그래프는 전력 기계의 전력 용량과 앞서 설명하였듯이 해당 시각에 각 전력 기계를 갖고 있는 모든 사용자들 중에서 ON상태를 유지하는 사용자들의 비율 값을 연결한 곡선의 식이 된다. 따라서 곡선과 x축 사이의 넓이는 사용자가 지불해야 하는 전력 요금이라고 생각해볼 수 있다. 즉, 그림에서 보여지는 그래프를 시간 축에서 적분을 할 경우, 지불해야 하는 전력 요금이 되는 것이다.

위의 표 2는 전력 기계의 전력 용량과 본 알고리즘에 적용하기 위해 정규화 전력 용량(normalized capacity) C_i 를 식 (1)에 따라 계산하여 같이 보여주

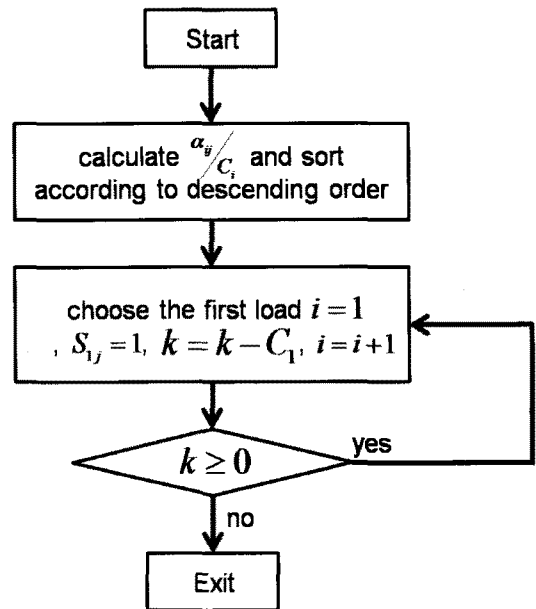


그림 6. Optimal load scheduling algorithm

표 2. capacity of home loads

전력 기계	capacity [watt]	C_i
TV	120	0.116
컴퓨터	70	0.068
에어컨	650	0.626
세탁기	130	0.125
냉장고	67	0.065

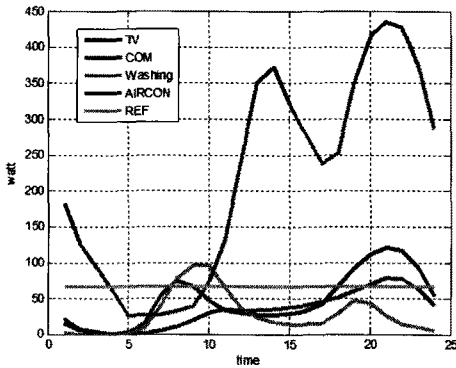


그림 7. 5종류의 가정용 전력 기계의 capacity를 고려한 사용패턴 함수

고 있다.

제안하는 스케줄링 알고리즘의 결과를 보여주기 위해 control time period 7,12,14,20 ($j=7,12,14,20$; 7시, 12시, 14시, 20시)의 결과를 보여주면 다음 표와 같다. 이 때, 전력 요금 한계 값(k)은 20으로 정하며, 다섯 종류의 전력 기계를 사용하므로, $N=5$ 의 값을 가진다.

위의 표 3을 보면, 냉장고와 TV의 $\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$ 값을 합하면, 19.937의 값을 얻을 수 있다. 이는 전력 요금 한계 값(k)은 20으로 정하였기 때문에, 세탁기를 추가적으로 선택할 경우, 20의 값을 초과하여 최적화 문제 (6)의 식에 실현가능하지 못한 (unfeasible) 해가 된다. 따라서 냉장고와 TV만 ON 상태를 선택하고, 나머지 전력 기계를 OFF상태로 한다.

표 4의 경우, 즉 12시에 전력 기계의 스케줄링 결과도 위의 표 3과 같이 수행하면 된다. 즉, 냉장고와 컴퓨터의 $\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$ 값의 합은 18.341이 되며, 이는 전력 요금 한계 값 20을 넘지 않는다. 하지만 TV를 추가적으로 ON상태로 할 경우, $\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$ 값의 합은 20.1이 되어 전

표 3. 7시 ($j=7$)

load	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
α_{ij}	1	0.528	0.156	0.057	0.019
C_i	0.065	0.116	0.125	0.068	0.626
$\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$	15.385	4.552	1.248	0.839	0.030
전력 기계	냉장고	TV	세탁기	컴퓨터	에어컨

표 4. 12시 ($j=12$)

load	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
α_{ij}	1	0.201	0.204	0.047	0.203
C_i	0.065	0.068	0.116	0.125	0.626
$\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$	15.385	2.956	1.759	0.376	0.324
전력 기계	냉장고	컴퓨터	TV	세탁기	에어컨

력 요금 한계 값 20을 초과하게 된다. 따라서 냉장고와 컴퓨터만 ON 상태를 선택하고, 나머지 전력 기계를 OFF상태로 한다. 아래의 표 5와 표 6에서도 같은 과정을 수행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

냉장고와 컴퓨터, 에어컨을 ON 상태를 선택하고, 나머지 전력 기계를 OFF상태로 한다.

냉장고의 상태를 ON 상태로 선택하고, 나머지 전력 기계를 OFF상태로 한다.

물론 해당 시간에 사용자가 원하는 전력 기계를 강제로 OFF상태로 바꿀 수는 없다. 하지만 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 통해 각 control time period에서 ON상태의 전력 기계를 선택해 줌으로써 전력 요금의 한계 내에서의 사용자의 만족도를 최대화할 수 있는 스케줄링 방법을 보여주고 있다. 앞서 제안하는 스케줄링 알고리즘을 바탕으로 각 전력 기계의 사용 패턴 결과 그래프를 보면 다음과 같다. 각 그래프의

표 5. 14시 ($j=14$)

load	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
α_{ij}	1	0.207	0.886	0.158	0.029
C_i	0.065	0.068	0.626	0.116	0.125
$\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$	15.385	3.038	1.415	1.362	0.232
전력 기계	냉장고	컴퓨터	에어컨	TV	세탁기

표 6. 20시 ($j=20$)

load	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
α_{ij}	1	0.894	0.466	0.352	0.051
C_i	0.065	0.116	0.068	0.626	0.125
$\frac{\alpha_{ij}}{C_i}$	15.385	7.707	6.853	0.563	0.408
전력 기계	냉장고	TV	컴퓨터	에어컨	세탁기

파란색 선은 실제 사용 패턴 그래프가 되며, 붉은색 선은 스케줄링 후의 결과 그래프를 나타낸다.

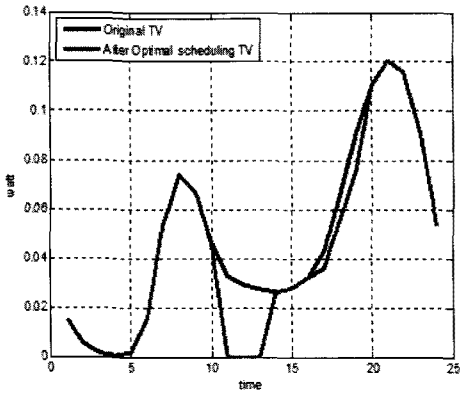


그림 8. TV 사용 패턴 함수 결과 그래프

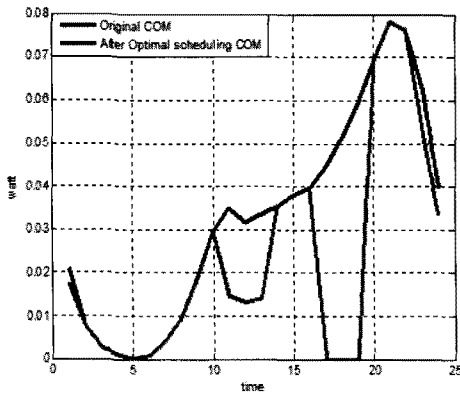


그림 9. 컴퓨터 사용 패턴 함수 결과 그래프

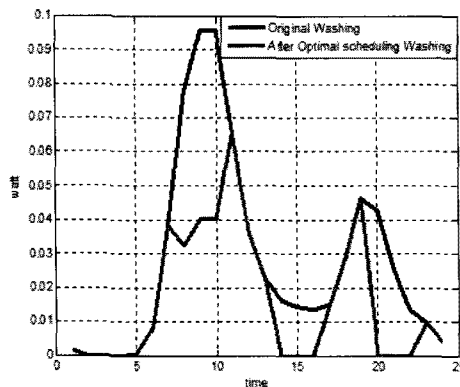


그림 10. 세탁기 사용 패턴 함수 결과 그래프

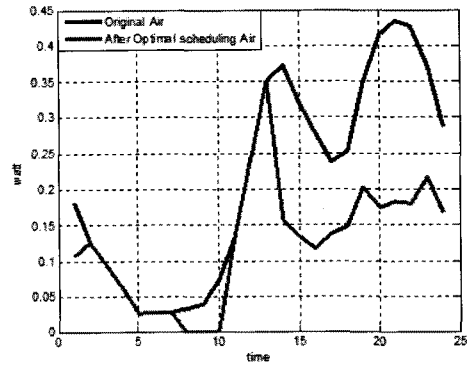


그림 11. 에어컨 사용 패턴 함수 결과 그래프

V. 결 론

본 논문에서는 최근 많은 이슈가 되고 있는 스마트 그리드에서 수요 반응에 관한 가정용 전력 기계의 최적화된 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 사용자는 자신이 갖고 있는 여러 종류의 전력 기계의 실시간 사용량을 학습 후, 사용 패턴 함수를 유도할 수 있다. 이를 이용하여 이미 주어진 전기 용량과 함께 최적화 문제를 해결하여, 전력 요금의 한계 값 내에서 만족도를 최대화 하였다. 각 전력 기계는 다양한 특성을 갖고 있기 때문에, 한 종류의 전력 기계의 스케줄링만을 고려한 기존의 연구와는 분명한 차이가 있다고 볼 수 있다. 최적화 문제 해결을 통한 사용 패턴 결과 그래프에서도 볼 수 있듯이 스케줄링 결과 사용 패턴의 그래프와 x축 사이의 면적이 줄어들어 전력 요금의 절감과 동시에 사용자의 만족도를 최대화 할 수 있음을 알 수 있다. 연속된 control time period 내에서 OFF 상태가 지속될 경우 사용자의 불편도를 고려한 연구 및 전력 요금의 정확한 모델링 등의 연구가 추가된다면 최적화 문제의 성능 향상은 더 높아질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Massoud Amin, S. and Wollenberg, B.F., "Toward a Smart Grid : Power Delivery for the 21st Century," Power and Energy Magazine IEEE}, Vol.3, Issue.5, pp.34-41, Sep. 2005.
- [2] Ye Huang, Amos Brocco, Pierre Kuonen, Mich'ele Courant, and B'eat Hirsbrunner, "SmartGRID: A Fully Decentralized Grid Scheduling Framework Supported by Swarm

Intelligence,” Grid and Cooperative Computing}, Oct. 2008.

- [3] M. H. Albadi, and E. F. El-Saadany, “Demand Response in Electricity Markets: An Overview,” Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE}, June. 2007.
- [4] US Department of Energy, “Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them,” Report to the United States Congress, February 2006. Available online: <http://eetd.lbl.gov>
- [5] Michael Angelo A. Pedrasa, Ted D. Spooner, and Iain F. MacGill, “Scheduling of Demand Side Resources Using Binary Particle Swarm Optimization,” IEEE Trans. Power Systems}, Vol.24, No.3, pp.1173-1181, Aug. 2008.
- [6] Tsair-Fwu Lee, Ming-Yuan Cho, Ying-Chang Hsiao, Pei-Ju Chao, and Fu-Min Fang, “Optimization and Implementation of a Load Control Scheduler Using Relaxed Dynamic Programming for Large Air Conditioner Loads,” IEEE Trans. Power Systems}, Vol.23, No.2, pp.691-702, May. 2008.
- [7] Grayson C. Heffner, Charles A. Goldman, and Mithra M. Moezzi, “Innovative approaches to verifying demand response of water heater load control,” IEEE Trans. Power Delivery}, Vol.21, No.1, pp.388-397, Jan. 2006.
- [8] Badri Ramanathan, and Vijay Vittal, “A Framework for Evaluation of Advanced Direct Load Control With Minimum Disruption” IEEE Trans. Power Systems}, Vol.23, No.4, pp. 1681-1688, Nov. 2008.
- [9] Zigbee Alliance, ZigBee Smart Energy Profile Specification, Document number 075356r15, ZigBee Profile: 0x0109, Revision 15, 2400 Camino Ramon, Suite 375, San Ramon, CA 94583, USA 2008.

Taewan Kim



Regular Member

He received the BS and MS degree from Yonsei University, Seoul, Korea, in 2008, 2010, respectively. He is pursuing the Ph.D. degree in wireless network lab from Yonsei University. His research interests are in the area of wireless sensor networks in resource management and smart grid.

Sungjin Lee



Regular Member

He received his B.S. in E.E. from Soongsil University in 2005 and his M.S. in E.E. from Yonsei University in 2007. He is pursuing the Ph.D. degree in wireless network lab from Yonsei University. His research interests are in the area of wireless communication networks in wireless resource management issues.

Sanghoon Lee

Lifelong Member



He received his B.S. in E.E. from Yonsei University in 1989 and his M.S. in E.E. from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 1991.

From 1991 to 1996, he worked for Korea Telecom. He received his Ph.D. in E.E. from the University of Texas at Austin in 2000. In June - Aug. 1999, he worked for Bell-Lab., Lucent Technologies on wireless multimedia communications. From Feb. 2000 to Dec. 2002, he worked on developing real-time embedded software and communication protocols for 3G wireless networks, Lucent Technologies. In March 2003, he joined the faculty of the Department of Electrical & Electronics Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea, where he is an Associate Professor. He is associate editor of JOURNAL of COMMUNICATIONS and NETWORKS (JCN) and IEEE Transactions on Image Processing. His research interests include 4G wireless networks, 3G W-CDMA/CDMA networks, multihop sensor networks, wireless multimedia communications, and image/video quality assessments.