

## IT 최적화 기술을 이용한 지능형전력망 환경의 스마트 빌딩 전력 스케줄링\*

이은지\*\* · 서유리\*\* · 윤소영\*\* · 장혜린\*\* · 반효경\*\*\*

### Power Scheduling of Smart Buildings in the Smart Grid Environment Using IT Optimization Techniques\*

Eunji Lee\*\* · Yu-Ri Seo\*\* · So-Young Yoon\*\* · Hye-Rin Jang\*\* · Hyokyung Bahn\*\*\*

#### ■ Abstract ■

With the recent advances in smart grid technologies and the increasing dissemination of smart meters, the power usage of each time unit can be detected in modern smart building environments. Thus, the utility company can adopt different price of electricity at each time slot considering the peak time. Korea government also announces the smart-grid roadmap that includes a law for realtime price of electricity. In this paper, we propose an efficient power scheduling scheme for smart buildings that adopt smart meters and real-time pricing of electricity. Our scheme dynamically changes the power mode of each consumer device according to the change of power rates. Specifically, we analyze the electricity demands and prices at each time, and then perform real-time power scheduling of consumer devices based on collaboration of each device. Experimental results show that the proposed scheme reduces the electricity charge of a smart building by up to 36.4%.

Keyword : Smart Building, Power Scheduling, Smart Grid, Genetic Algorithm

논문투고일 : 2012년 08월 23일      논문수정완료일 : 2012년 10월 27일      논문게재확정일 : 2012년 11월 23일

\* 본 연구는 2011학년도 이화여자대학교 Ewha Global Top 5 Project 연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

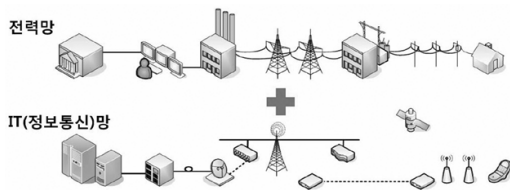
\*\* 이화여자대학교 컴퓨터공학과

\*\*\* 이화여자대학교 컴퓨터공학과, 교신저자

# 1. 서론

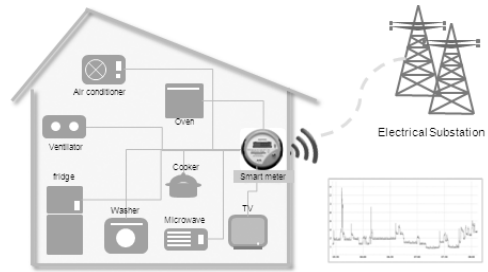
최근 전 세계적으로 지능형전력망(Smart Grid) 사업이 활발히 진행되고 있다. 지능형전력망이란 아날로그형 전력망을 디지털화하는 것으로, 전력망과 IT망을 융합하는 기술을 뜻한다([그림 1] 참조). 지능형전력망 인프라가 구축될 경우 스마트 전력량계가 도입되어 시간대별 전력 사용량의 파악이 가능해진다[1, 2]. 이에 따라 전기 요금 체계가 월별 누진제가 아닌 실시간 변동형 요금제로 전환되는 것이 현실화되고 있다[8]. 즉, 스마트 빌딩의 전력 사용량을 실시간으로 전력 공급 업체에 원격 전달하는 것이 가능해지면서 시간별 전력 사용량에 시간별 전력 단가를 적용하는 새로운 요금제의 도입이 이루어질 전망이다.

이와 같이 변화하는 시간별 전력 단가 정보를 전력량계를 통해 파악할 경우 이를 전기 요금 절감에 활용할 수 있다[4, 6, 7, 9-14]. 특히, 스마트 가전에 대한 원격 제어 표준이 정립되면서 새롭게 생산되는 가전의 경우 스마트 전력량계가 모든 가전 제품의 전력 모드를 원격으로 통제하는 것이 가능해지고 있다[5, 15]. 이에 따라 스마트 빌딩 내의 다양한 전력 수요들, 즉 공조 시스템, LED 조명, 연료 전지, 전기차 충전, 스마트 가전 등의 전력 모드를 전기 요금 변화에 맞게 동적으로 스케줄링하는 것이 가능하다. 예를 들어 전력 단가가 낮은 상황이면 정상 모드로 운영하고 단가가 높은 상황이면 전력 사용량의 합이 누진 고가요금이 적용되는 임계치를 넘지 않도록 협력적으로 저전력 스케줄링을 하는 것이 가능하다.



출처 : EPRI.

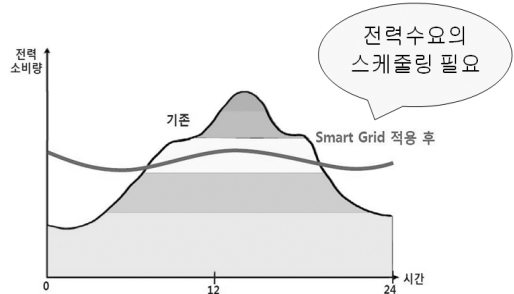
[그림 1] 지능형전력망 : 전력망과 IT망의 융합



[그림 2] 스마트 전력량계 기반의 전력 스케줄링

본 논문은 스마트 전력량계가 사용되는 차세대 전력망 환경에서 실시간 변동형 전기 요금제에 적합하도록 스마트 빌딩 내 전력 수요를 제어하는 스케줄링 기법을 제안한다([그림 2] 참조). 이를 위해 본 논문에서는 먼저 전력 스케줄링 문제를 실시간 태스크 스케줄링 문제로 정형화시킨 후, 해당 문제가 매우 복잡도가 높은 문제임을 보인다. 이를 토대로 본 논문은 진화적 이론에 기반한 효율적인 휴리스틱을 통해 복잡한 문제 공간을 한정된 시간 내에 효율적으로 탐색한다. 특히, 유전 알고리즘을 이용한 협력적 스케줄링을 통해 전력 요금을 최소화하는 스케줄을 탐색한다.

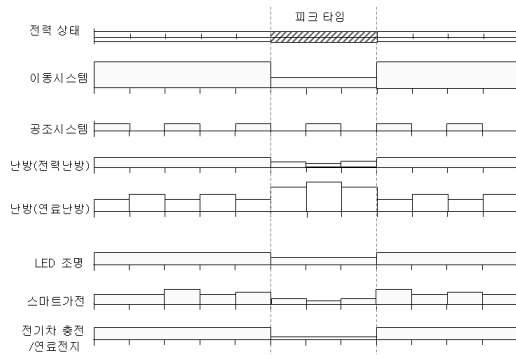
다양한 빌딩 환경에서의 시뮬레이션 실험을 통해 제안 기법이 기존 방식에 비해 전력 요금을 평균 27.0%, 최대 36.4%까지 줄일 수 있음을 보인다. 이는 요금 절감뿐 아니라 피크타임 전력 사용량을 줄이고 시간대별 전력 사용량의 편차를 해소하는 데 기여할 수 있을 것이다([그림 3] 참조).



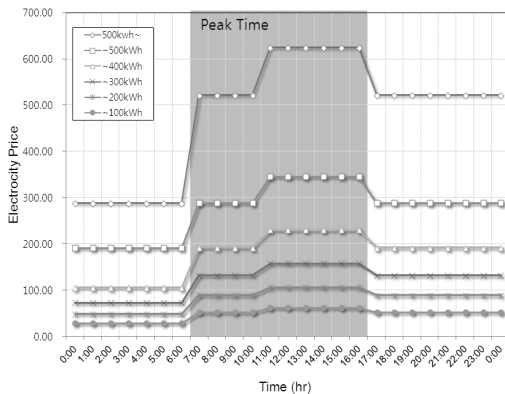
[그림 3] 전력 사용의 시간별 편차 해소를 위한 전력 수요 스케줄링의 필요성

## 2. 문제의 정의

[그림 4]는 시간에 따른 스마트 빌딩 내 전력 수요별 스케줄링의 예를 보여주고 있다. 그림에서 피크타임은 전력 요금이 높게 책정되는 시간대를 의미한다. 그림에서와 같이 피크 타임 시에는 여러 전력 수요들의 상태를 저전력 모드로 전환하는 것이 적절하다. 한편, 전력 수요 별로 전력 모드, 최소 수행 주기, 필수 수행 여부 등의 제약 조건이 존재한다. 또한, 스케줄링 문제는 각 전력 수요 별로 개별적으로 이루어질 수 있는 것이 아니라 복잡도가 높은 문제이기 때문에 유전 알고리즘과 같은 IT 최적화 기법의 활용이 필요하다. 이에 대한 이유를 2가지 측면에서 살펴보면 다음과 같다.



[그림 4] 전력 스케줄링에 의한 스마트 빌딩 내 각 전력 수요의 전력 모드 변화



[그림 5] 실시간 전력요금제의 요금 변화 예

- **누진 시스템** : 전력요금이 전기 사용량에 비례하여 증가하는 것이 아니라 일정량을 넘어설 경우 요금이 큰 폭으로 상승하는 누진 임계치가 존재하므로 이를 넘지 않도록 각 전력 수요를 협력적으로 스케줄링해야 한다. 예를 들어 [그림 4]에서 피크타임이 3개의 세부 구간으로 나누어져 있는데 첫 번째 구간에서 공조 시스템이 비활성화 되었으므로 다른 수요들을 조금 더 활성화시킬 수 있으며, 두 번째 구간에서는 공조 시스템이 활성화되어 난방 및 스마트 가전의 전력 모드를 낮추어 총 사용량이 요금이 비싸지는 누진 임계치를 넘지 않도록 하여 스케줄링해야 한다.
- **다단계 피크타임** : [그림 4]에서는 전력 요금 변동을 피크 타임과 그렇지 않은 경우로 2원화해서 표시했지만 실시간 변동 요금제 하에서는 다단계의 시간대별 전력 과금 체계가 존재한다. [그림 5]에서 보는 것처럼 각 시간대별 요금과 누진임계치가 모두 다단계로 존재하므로 이에 적합한 스케줄링 최적화가 필요하다.

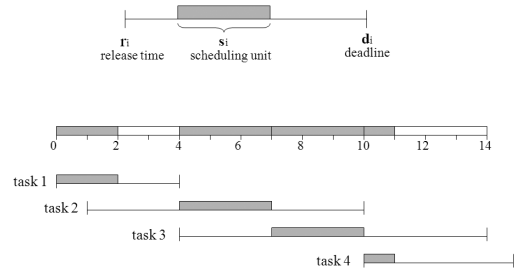
이에 본 논문에서는 각 전력 수요별 최소 수행 주기, 꼭 필요한 수행인지 여부 등을 토대로 유전 알고리즘을 이용해 최소의 전력 요금으로 스마트 빌딩 내 모든 전력 수요들이 안정적으로 수행될 수 있는 최적의 스케줄링을 탐색한다. 특히, 개별 시스템의 전력모드 변경을 협력적으로 수행하는 시분할 스케줄링을 통해 각 타임 구간별로 전력사용량의 합이 고비용 누진 임계치를 넘지 않도록 스케줄링을 최적화한다.

## 3. 스마트 빌딩의 전력 스케줄링

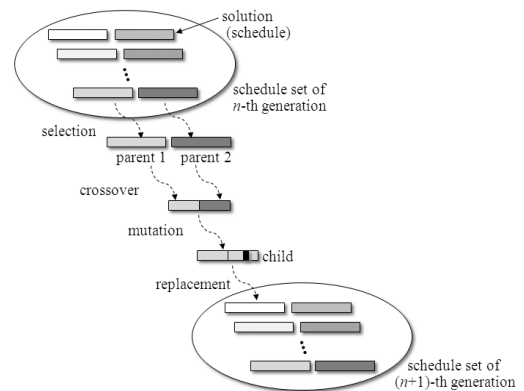
본 연구의 전력 스케줄링 문제는 컴퓨터공학 분야의 대표적인 최적화 문제인 실시간 태스크 스케줄링 문제와 유사하게 모델링할 수 있다. 실시간 태스크 스케줄링 문제는 [그림 6]에서 보는 것처럼 각각의 태스크마다 시작 가능 시간(release time)

과 마감 시간(deadline)이 존재하고 그 사이에 실제로 서비스를 받아야 하는 시간인 스케줄링 유닛이 존재한다. 그러면 스케줄링 문제는 시작 가능 시간부터 마감 시간 내의 어느 시간대에 스케줄링 유닛을 위치시킬지를 결정하는 문제이다. [그림 6]에서는 4개의 태스크가 각각 서로 다른 시작 가능 시간과 마감 시간을 가지고 있으며 그 중 적절한 시간에 태스크를 위치시킨 모습을 타임 라인을 통해 보여주고 있다. 한편 실시간 태스크 스케줄링 문제는 매 시점 하나의 태스크만 수행 가능하기 때문에 태스크의 중첩 수행이 불가능하다. 그러나 본 연구에서 수행하는 전력 스케줄링 문제는 매 시점 여러 태스크(전력 수요)를 동시에 스케줄(전력 공급)하는 것이 가능하다. 다만, 동시 스케줄 시 사용되는 전력량의 합이 고가의 누진 임계치를 넘어설 경우 전력 요금이 높아지는 문제가 발생한다. 또한, 시간대별로 피크타임이 존재하여 전력 단가 자체가 달라지고 있어 이보다 더욱 복잡한 스케줄링 문제가 발생한다.

기존의 실시간 태스크 스케줄링 문제가 NP-hard 문제로 최적화가 매우 복잡한 문제이기에 본 스케줄링 문제 역시 그 이상의 복잡도를 가진 문제로 유전 알고리즘 등 최적해를 빨리 찾거나 근사시키는 지능형 기법의 사용이 필수적이다.  $M$ 이 태스크의 수이고  $N$ 이 스케줄 단위시간인 경우 본 문제의 시간 복잡도는  $O(2^{MN})$ 이다. 예를 들어, 전력 수요가 23가지이고, 이들 각각에 대해 30분 간격으로 On/Off를 결정할 경우 하루 24시간을 기준으로 매 시점 각 전력 수요에 대한 상태를 결정하는 총 스케줄이  $2^{23 \times 24 \times 2}$ 가지, 즉  $2^{1104}$ 가지 스케줄이 발생한다. 스케줄링 단위 시간이 더 짧아지고 전력 수요의 상태가 On/Off가 아닌 다중 모드로 존재할 경우 더욱 복잡한 최적화 문제가 되어 현대의 컴퓨터로 모든 경우의 수를 탐색하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 유전 알고리즘을 사용하여 단 시간 내에 최적해에 근사하는 스케줄을 탐색한다.



[그림 6] 실시간 태스크 스케줄링 문제



[그림 7] 유전 알고리즘의 단계

유전 알고리즘이란 진화의 원리를 문제 해결에 이용하는 대표적인 방법론 중 하나로 보편적 방법(결정론적 방법)으로 좋은 해를 잘 구하지 못하는 경우에 특히 유용하다[3]. [그림 7]은 본 연구에서 진행되는 유전 알고리즘의 단계를 보여주고 있다.

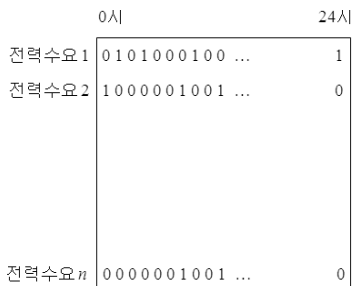
### 3.1 유전 알고리즘의 인코딩 및 해집단 구성

유전 알고리즘은 대부분 최적화 문제를 대상으로 사용된다. 즉, 수 없이 많은 해가 해집단으로 존재하고 그 안에서 가장 품질이 좋은 해를 찾는 데 활용된다. 따라서 유전 알고리즘에서는 각각의 해를 인코딩할 수 있는 표현 방법과 그에 대한 연산의 정의가 필요하다. 본 연구에서는 각 전력 수요를 행으로, 하루 24시간을 열로 표현한 후, 0과 1의 값을 가지는 행렬로 해를 구성하였다. 이때, 0은 해당 전력 수요가 해당 시간에 꺼진 상태(Off)

를 나타내고 1은 켜진 상태(On)를 나타낸다.

일부 가전의 경우 다중 전력 모드가 지원된다. 예를 들어 전기밥솥의 경우 취사 모드와 보온 모드가 존재하며, 각각의 전력 소모는 상이하다. 본 논문의 인코딩 방식은 이러한 다중 모드 가전에 대해 각 모드를 상이한 전력 수요로 간주하여 별도의 행에 인코딩하도록 하였다. 즉, 전기밥솥의 취사 모드와 보온 모드를 각각 별도의 가전으로 간주하고 이들에 필요한 시간 제약 조건을 주어 인코딩을 하였다. 이와 같은 방식은 행렬의 각 원소가 다중 값을 가질 수 있게 하는 방식에 비해 인코딩을 단순화할 수 있는 장점이 있다.

초기 해집단은 1000개의 해를 임의로 발생시켜 구성하였다. 한편 생성된 해가 전력 수요별로 존재하는 시간 제약 조건을 만족하지 못할 수 있다. 이 경우 각 행(전력수요) 별로 보정 연산을 수행하여 모든 해가 제약 조건을 만족하도록 하였다. 보정 연산은 우선 필요한 1의 개수가 맞지 않는 경우 임의의 열을 선택하여 1의 개수가 맞는 방향으로 0과 1을 바꾸는 작업을 반복한다. 시간 제약 조건에 맞지 않는 1의 위치에 대해서는 시간 제약 조건 내의 난수를 발생시켜 해당 시간대로 이동시켜 의미 있는 해로 변경해 주었다.



[그림 8] 전력 스케줄링을 위한 인코딩 방법

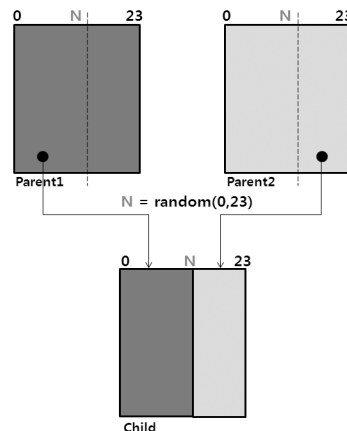
### 3.2 선택 연산

선택 연산은 새로운 해의 생성을 위해 해집단에서 두 개의 부모해를 고르는 연산이다. 선택 연산의 대표적 알고리즘으로는 룰렛휠 선택 알고리즘

이 있다. 이는 해집단에서 우수한 해와 열등한 해 사이의 적합도 차이를 조절함으로써 해집단 내에서 해의 품질에 따라 부모해가 선택될 확률을 조절하는 방법이다. 즉, 우수한 부모해가 선택될 확률이 열등한 부모해가 선택될 확률보다 높아지게 하여 해집단이 좋은 쪽으로 진화해가도록 유도하는 것이다. 하지만, 우수한 해가 선택될 확률이 지나치게 높을 경우 해집단의 다양성 확보에 장애가 되므로 해의 적합도(fitness) 값을 정규화하여 열등한 해의 선택도 일정한 확률로 가능하게 하는 방안이 필요하다. 본 논문에서는 해집단에서 가장 우수한 해가 선택될 확률이 가장 열등한 해가 선택될 확률의 4배가 되도록 적합도 값을 정규화하는 대표적인 선택 연산을 수행하였다[3].

### 3.3 교차 연산 및 변이 연산

교차는 두 부모해의 특징을 부분 결합하여 하나의 새로운 해를 만들어 내는 연산이다. 교차 연산에는 다양한 방법이 존재하지만, 본 연구에서는 가장 널리 사용되는 일점 교차를 행렬에 적용하는 방식을 사용하였다. [그림 9]는 선택 연산으로 선택된 두 개의 부모 해(Parent1, Parent2)를 0과 23사이에서 발생시킨 난수를 기준으로 열 방향으로 잘라 교차하여 새로운 해(Child)를 얻는 과정을 보여준다.



[그림 9] 전력 스케줄링을 위한 교차 연산

본 논문에서는 변이 연산을 따로 시행하지 않았다. 이는 교차 연산으로 생성된 해가 도메인의 제약 조건, 즉 전력 수요별로 존재하는 시간 제약 조건을 만족하지 못할 수 있는데, 이 경우 보정 연산을 통해 제약 조건을 만족하도록 바꾸어주는 절차가 필요하고 이 과정이 일종의 변이 연산 역할을 하기 때문이다. 보정 연산은 제 3.1절에 소개된 방식과 동일한 방식으로 무의미한 해를 의미 있는 해로 보정시켰다.

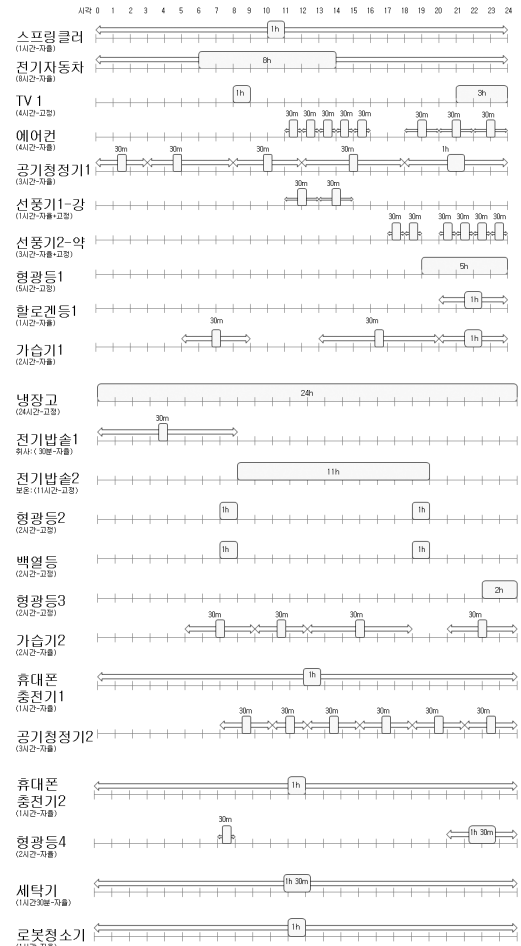
### 3.4 대치 연산

교차 연산을 통해서 새롭게 만들어진 해를 해집단에 넣어주기 위해서 대치 연산을 사용한다. 대치 연산에는 새로 생성된 해와 가장 비슷한 해를 제거하고 새로운 해로 대체해주는 방법, 품질이 가장 나쁜 해를 제거하고 새로운 해로 대체해주는 방법 등이 있지만, 본 연구에서는 빠른 수렴을 위해 후자를 사용하였다.

## 4. 성능 평가

본 장에서는 제안한 스케줄링을 사용한 경우와 기존 기법의 전력 요금을 비교한다. 전기 요금제는 2009년부터 캐나다에서 시행되고 있는 실시간 변동형 요금제를 벤치마킹하고 이를 누진 임계치에 따른 요금 변화를 반영한 <표 1>과 같은 요금 체계를 기준으로 하였다.

[그림 10]은 본 실험에 사용한 스마트 빌딩 내 전력 수요 및 제약 조건의 예를 나타낸다. 그림에서 사각형의 박스는 해당 전력 수요가



[그림 10] 스마트 빌딩 내 전력 수요 및 제약 조건

24시간 중 실제로 전력 공급이 필요한 시간량을 나타내고, 사각형 박스 좌우의 화살표는 해당 전력 수요가 위치할 수 있는 시간대의 범위를 나타낸다. 예를 들어, 전기밥솥 1은 0시부터 8시 사이 임의의 시간대 중 30분간 전력 공급이 필요하다는

<표 1> 실험에 사용한 실시간 변동형 전기 요금제

	~100kWh	~200kWh	~300kWh	~400kWh	~500kWh	500kWh~
00 : 00~07 : 00	28.95	49.35	73.22	106.37	191.15	288.29
07 : 00~11 : 00	52.40	89.30	132.50	192.50	288.90	521.70
11 : 00~17 : 00	62.74	106.93	158.65	230.49	345.92	624.67
17 : 00~24 : 00	52.40	89.30	132.50	192.50	288.90	521.70

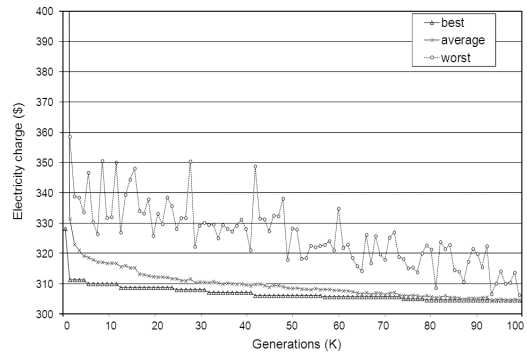
것을 나타내고 있다.

[그림 11]은 유전 알고리즘의 세대 진행에 따른 해집단의 개선 모습을 조사한 것이다. 유전 알고리즘이 진행됨에 따라 해집단 내의 1000개의 해 중 최적해와 최악해, 해집단 평균이 지속적으로 개선되면서 수렴되어 가는 것을 확인할 수 있다. [그림 12]는 유전 알고리즘을 이용한 전력 스케줄링과 기존 스케줄링 기법의 전기 요금 차이를 보여주고 있다. 기존 기법은 각 전력 수요가 위치할 수 있는 시간대에 임의로(random) 배치되는 Original 스케줄링 기법을 사용하였다. 또한, 전력 수요가 배치될 수 있는 곳 중 요금이 가장 저렴한 곳으로 배치하는 Greedy 방식과도 요금 차이를 함께 실험하여 비교하였다.

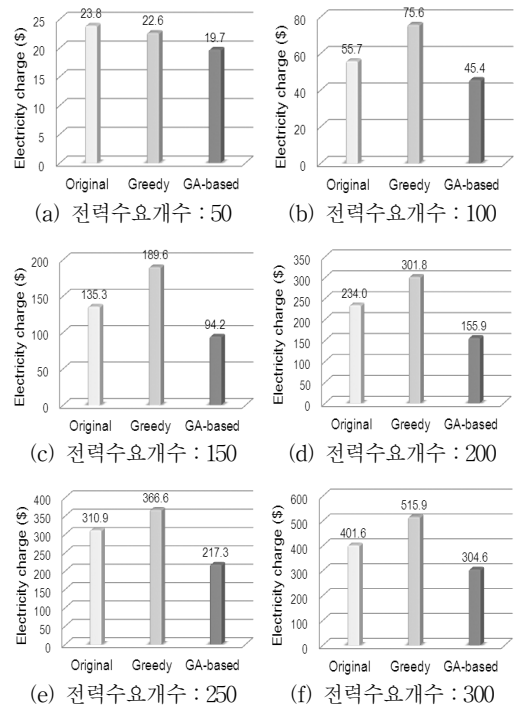
그림에서 볼 수 있듯이, 유전 알고리즘을 이용하여 전력 수요를 스케줄링한 결과 전력 수요의 개수가 50개인 경우부터 300개인 경우까지 모든 경우에 있어 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 유전 알고리즘을 이용한 기법의 성능 개선은 Original 기법에 비해 평균 27.0%, 최대 36.4%인 것을 확인할 수 있었다. 또한, 제안한 기법은 전력 수요의 수가 150개 이상인 비교적 규모가 큰 건물 환경에서 성능 개선이 뚜렷한 것으로 확인되었다. 이는 유전 알고리즘을 이용한 스케줄링이 상대적으로 전력 요금 단가가 낮은 시간대로 전력 수요들을 스케줄링하고 해당 구간에서는 요금이 높아지는 임계치를 넘지 않도록 여러 수요들을 협력적 스케줄링하여 얻게 된 결과로 볼 수 있다.

전력 수요의 수가 증가함에 따라 전력 사용량의 합이 누진 임계치를 넘게될 가능성이 높다. 제안하는 기법은 이러한 상황을 각 전력 수요들 간의 협력을 통해 해결한다. 한편, Greedy 스케줄링은 Original 스케줄링에 비해 전력 수요의 수가 50개인 경우 약간 좋은 성능을 나타내었으나, 전력 수요가 늘어남에 따라 Original 스케줄링에 비해서도 좋지 않은 성능을 나타내었다. Greedy 스케줄링이 Original 스케줄링에 비해 평균 24.3%, 최대 40.1%

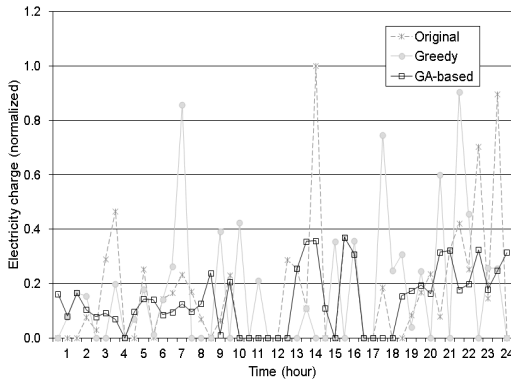
까지 안 좋은 성능을 나타내었으며, 이는 다소 예상치 못한 결과이나 누진 요금제에 기인한 것으로 생각할 수 있다. 비록 Greedy 스케줄링이 피크타임을 효율적으로 회피하고 있으나, 그 이외의 시간대에서는 부하균형을 맞추는 기능이 없기 때문에 누진임계치를 넘어서게 되어 전체적인 요금 증가가 발생한 것으로 판단할 수 있다.



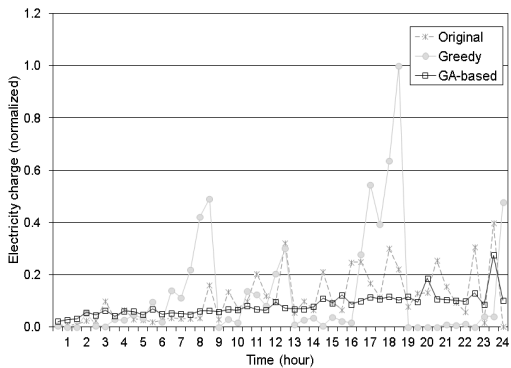
[그림 11] 실험 진행에 따른 해집단 개선 및 수렴성



[그림 12] 스케줄링 기법의 전력요금 비교



(a) 전력수요개수 50일 때의 시간대별 전력요금

(b) 전력수요개수 300일 때의 시간대별 전력요금  
[그림 13] 스케줄링 기법들의 시간대별 전력요금

이에 대한 정확한 분석을 위해 스케줄링 기법별로 시간대별 전력 요금에 대한 조사를 하였다. [그림 13]은 하루 24시간의 시간 흐름에 따라 각 스케줄링 기법이 어느 정도의 전기 요금을 발생시키는지를 정규화하여 표시한 것이다. 그림에서 보는 것처럼 유전 알고리즘에 기반한 방식은 시간대에 관계 없이 비교적 고른 요금 분포를 나타내었다. 이와 같은 결과를 나타낸 이유는 피크타임뿐 아니라 모든 시간대에 대해 협력적 스케줄링을 통해 누진 임계치를 넘지 않도록 스케줄링하기 때문이다. Greedy 스케줄링의 경우 피크타임을 회피하는데에만 주력하여 그 이외의 구간 중 요금이 급격히 증가하는 시간대가 발견되는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 스마트 전력량계가 사용되는 차세대 전력망 환경에서 실시간 변동형 전력 요금제에 적합한 스마트 빌딩 내 전력 수요를 제어하는 스케줄링 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 실시간 전력 요금 정보에 따라 스마트 빌딩 내의 전력 수요를 협력적으로 스케줄링하여 전력 요금을 평균 27.0%, 최대 36.4%까지 줄이는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 원격 전력 제어가 가능한 차세대 스마트 가전을 저전력 스케줄링하는 기반 기술의 확산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 피크타임의 전력 소모 절감으로 시간대별 전력 사용량의 편차를 해소하는 데에도 기여할 수 있을 것이다. 향후에는 시간대에 대한 요금 정보가 미리 주어지지 않는 환경에서 미래의 요금을 예측하면서 스케줄링하는 더욱 복잡한 요금제 환경을 위한 연구로 확장할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Saele, H. and O. Grande, "Demand Response From Household Customers : Experiences from a Pilot Study in Norway", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.2, No.1(2011), pp.102-109.
- [2] Park, S., H. Kim, H. Moon, J. Heo, and S. Yoon, "Concurrent Simulation Platform for Energy-Aware Smart Metering Systems", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.56, No.3(2010), pp.1918-1926.
- [3] Moon, B., *Easily Learning Genetic Algorithms*, Hanbit media, 2008.
- [4] Lien, C., Y. Bai, H. Chen, and C. Hung, "Home appliance energy monitoring and controlling based on Power Line Communication", *Proceedings of the International Conference*



- on Consumer Electronics(ICCE)*, (2009), pp.1-2.
- [5] Yi, P., A. Iwayemi, and C. Zhou, "Developing ZigBee Deployment Guideline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.2, No.1(2011), pp.110-120.
- [6] Granderson, J., M. Piette, and G. Ghatikar, "Building energy information systems : user case studies", *Energy Efficiency*, Vol.4, No.1 (2011), pp.17-30.
- [7] Han, D. and J. Lim, "Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.56, No.3 (2010), pp.1417-1425.
- [8] Kim, T. and H. Poor, "Scheduling Power Consumption With Price Uncertainty," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.2, No.3 (2011), pp.519-527.
- [9] Du, P. and N. Lu, "Appliance Commitment for Household Load Scheduling", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.2, No.2 (2011), pp.411-419.
- [10] Zeifman, M., "Disaggregation of Home Energy Display Data Using Probabilistic Approach", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.58, No.1(2012), pp.23-31.
- [11] Aliberti, M., "Green Networking in Home and Building Automation Systems through Power State Switching", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.57, No.2(2011), pp.445-452.
- [12] Mohsenian-Rad, A., V. Wong, J. Jatskevich, Schober, R., and A. Leon-Garcia, "Autonomous demand side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.1, No.3(2010), pp.320-331.
- [13] Li, N., "Optimal demand response based on utility maximization in power networks", *Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting*, (2011), pp.1-8.
- [14] Lee, J., G. Park, S. Kim, H. Kim, S. Sung, "Power consumption scheduling for peak load reduction in smart grid homes", *Proceedings of the ACM International Symposium on Applied Computing*, (2011) pp.584-588.
- [15] Gungor, V., D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, and G. Hancke, "Smart Grid Technologies : Communication Technologies and Standards", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.7, No.4(2011), pp.529-539.

## ◆ 저 자 소 개 ◆



**이 은 지 (alicia0729@gmail.com)**

현재 서울대학교 컴퓨터공학부 박사과정에 재학 중이며, 이화여자대학교 컴퓨터공학과에서 학사 학위를 취득하였다. 관심 연구분야는 컴퓨터 구조, 운영체제, 내장형시스템, 플래시메모리, 차세대 비휘발성메모리, 고신뢰성 파일시스템 등이다.



**서 유 리 (syuri0613@naver.com)**

현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학부과정 중이며, 관심 연구분야는 임베디드 시스템, 스마트 디바이스, 의료 시스템, 운영체제, 지능형 시스템 등이다.



**윤 소 영 (soy1217@ewhain.net)**

현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학부과정 중이며, 관심 연구분야는 임베디드 시스템, 스마트 디바이스, 로봇 시스템, 운영체제, 지능형 시스템 등이다.



**장 혜 린 (hrjang@ewhain.net)**

현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학부과정 중이며, 관심 연구분야는 임베디드 시스템, 스마트 디바이스, 운영체제, 시스템 소프트웨어, 지능형 시스템 등이다.



**반 효 경 (bahn@ewha.ac.kr)**

현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 부교수로 재직 중이며, 서울대학교 계산통계학과 전산과학전공에서 학사, 석사 학위를 수여하고, 동대학교 컴퓨터공학부에서 박사 학위를 수여하였다. 주요 연구분야는 운영체제, 스토리지 시스템, 임베디드 시스템, 시스템 최적화, 그린 IT 등이며, 구체적으로는 스마트 디바이스용 프로그램 특성 분석, 차세대 비휘발성 메모리를 위한 소프트웨어 설계, 데이터센터 및 빌딩 환경을 위한 전력 절감 기술, 운영체제 가상메모리 및 파일시스템 계층 설계 등이다.