

최적의 부하소비전략 수립을 위한 새로운 부하관리시스템 패키지 응용에 관한 연구

정구형 김진호* 김발호
 홍익대학교 전기정보제어공학과 *기초전력공학공동연구소

Application of New Load Management System Package for Development of the Optimal Electricity Consumption Strategy

Chung, Koohyung Kim, Jinho* Kim, Balho
 Hongik Univ. *EESRI

Abstract - This paper describes the consumer's decision-making process for own optimal electricity consumption schedule and strategy using new load management system (LMS). As a result, it is demonstrated that a consumer in competitive electricity market has the opportunities to reduce electric payment by use of this LMS.

1. 서 론

최근 전 세계의 전력산업은 기존의 수직통합적인 독점구조에서 경쟁을 통한 효율성 증대를 목적으로 하는 시장경쟁 체제로 변화하고 있다. 이러한 경쟁적 전력시장에는 다수의 발전사업자, 망사업자(송전/배전회사), 판매사업자 및 대규모 전력소비자 등이 시장참여자로 등장하게 되며, 각 시장참여자들은 상호 경쟁을 통해 자신의 이익을 추구하게 된다[1].

경쟁적 전력시장으로의 이행으로 인해 전력산업 환경 전반에 걸쳐 근본적인 변화가 예상된다. 이러한 변화들 가운데 가장 중요한 것은 전기요금 체계의 변화이다. 경쟁적 전력시장에서의 전기요금은 시장원리에 의해 공급과 수요가 만나는 점에서 결정되므로, 전기요금은 매 시간마다 해당 시간의 시장환경에 따라 변동하게 된다. 이와 같이 전력가격이 갖는 가변성과 불확실성으로 인해 경쟁적 전력시장에 참여하는 사업자의 수익에 대한 불확실성도 증가하며 또한 전력소비자의 에너지비용도 그 불확실성이 크게 증가할 것으로 예상된다[2].

이에 따라, 대부분의 대규모 소비자들은 전기요금 정보나 자신이 사용하고 있는 전력 및 에너지 소비패턴에 대한 정보와 소비전략을 갖추지 않는 경우, 예전에 비해 상당히 많은 전력비용을 지불해야 하는 상황에 처하게 되었으며 그 결과, 불확실한 전기요금에 대해 능동적으로 대처할 수 있도록 하는 효율적인 부하관리 메커니즘에 대한 필요성이 점차 증가하고 있다[3].

본 논문에서는 경쟁적 전력시장에 참여하는 소비자가 참고 문헌 [4]에서 개발한 새로운 부하관리시스템(Load Management System, LMS)을 이용하여 자신의 최적 부하사용계획 및 소비전략에 대한 의사결정을 수행하는 과정에 대해 기술하고자 한다[4]. 그 결과, 소비자는 부하관리시스템 패키지를 이용함으로써 보다 많은 전기요금 절감기회를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

2. 새로운 부하관리시스템의 기능

참고문헌 [4]에서 개발한 LMS는 현재 시간의 에너지 사용량 및 이에 따른 요금정보를 제공하는 Monitoring 기능과 과거 에너지 사용패턴 및 이에 대한 요금패턴을 분석할 수 있도록 하는 Energy/Cost Analysis 기능 및 다양한 시나리오를 통해 사용자가 자신에게 적합한 에너지 사용스케줄을 결정하는 데 필요한 정보를 제공하는 Scenario Analysis 기능을 제공한다. 이러한 기능들은 LMS 사용자가 시시각각 변하는 전기요금에 합리적으로 대응하여 에너지비용을 줄이면서, 동시에 자신이 필요로 하는 전력을 사용할 수 있는 최적에너지 사용계획 및 소비전략을 수립할 수 있도록 한다.

2.1 Monitoring 기능

Monitoring 기능은 LMS를 실행한 현재일에 각각의 부하에서 소비된 에너지 사용량 및 이에 따른 요금 정보를 제공하는 기능을 수행한다. 따라서, 사용자는 Monitoring 기능을 통해 현재 각 부하의 에너지 소비패턴 및 이에 대한 요금패턴을 확인할 수 있으며, 전체 에너지 소비량 및 전기요금에 가장 영향을 많이 끼치는 부하를 판별할 수 있다. 또한, 에너지 소비량 및 사용요금이 비정상적으로 급변하는 부하를 확인할 수 있으므로 이를 통해 사용자가 자신의 에너지 사용스케줄을 최적으로 변경하는 데 필요한 기본적인 정보를 제공한다. 또한, 사용자는 자신이 관심을 갖고 감시하는 부하들을 하나의 그룹으로 지정한 가상부하를 설정할 수 있으며, 이러한 가상부하를 포함한 모든 부하 가운데 일부를 사용자 임의로 지정하여 이 기능을 수행할 수도 있다.

Monitoring 기능은 기본적으로는 실행일 0시부터 현재 시간까지의 에너지 사용정보와 이에 대한 요금정보를 제공하지만, 사용자는 자신이 관심을 갖고 있는 임의의 시간대를 지정하여, 이 시간에 대해서만 이 기능을 수행할 수도 있다. 개발된 LMS는 30분 단위로 Monitoring을 수행하고 있으나, 이러한 Monitoring interval은 각 부하에 설치된 계측기의 계측주기에 맞추어 변경될 수도 있다. 각각의 부하에 대한 전력사용량[kWh]은 30분 주기의 데이터의 합으로 계산되고, 현재까지의 특정 부하의 사용량 요금(U_i)과 전체 부하의 사용량 요금(U_c)은 각각 다음 식 (1)과 (2)에 따라서 연산된다.

$$U_c = \sum_{i=1}^n P_i R_i \tag{1}$$

- 단, t_0 : 초기 계측시간
- t_n : 최종 계측시간
- P_i : 시간 t 에서 계측된 전력사용량
- R_i : 시간 t 에서 적용된 사용량 요금단가

$$U_i = \sum_{t=t_0}^{t_n} P_{ii} R_i \tag{2}$$

- 단, P_{ii} : 시간 t 에서 계측된 i 번째 부하의 전력사용량
- n : 총 부하의 개수

2.2 Energy/Cost Analysis 기능

Energy/Cost Analysis 기능은 사용자가 선택한 분석유형에 따라 해당 부하의 과거의 에너지 사용정보와 요금계산정보를 제공하여, 이를 바탕으로 해당 부하의 에너지 사용패턴 및 이에 따른 요금패턴을 쉽게 비교·분석할 수 있도록 지원한다. LMS에서 제공하는 Energy/Cost Analysis는 사용자가 다양한 관점에서 자신의 부하에 대한 분석을 수행할 수 있도록 다음과 같은 세 가지 분석유형을 제공한다.

■ 24-Hour Energy/Cost Profile-Meter
 일반적으로 하나의 플랜트에는 다수의 부하가 위치하고 있

으며, 각 부하의 에너지 사용량에 따라 사용자의 전기요금에 결정된다. 이 때, 실제로 사용자의 전기요금에 크게 영향을 끼치는 것은 단지 몇 개의 부하일 수도 있다. 이와 같은 경우, 사용자는 자신의 전체 에너지 사용에 많은 영향을 끼치는 일부 부하에 대해서만 관심을 갖게 된다. 또한, 사용자는 특정 부하에 대한 에너지 사용패턴 및 요금패턴에 대해서만 관심을 가질 수도 있다. 이러한 사용자의 요구를 충족시키기 위해 개발된 LMS는 24-Hour Energy /Cost Profile-Meter 분석유형을 제공한다. 이 분석유형은 특정 부하에 대해 일정 기간동안의 에너지 사용기록 및 요금산정 결과를 비교·분석하기 위한 것으로, 사용자가 설정한 기간 동안의 시간대별 에너지 사용정보 및 요금정보를 제공한다. 사용자는 이를 통해 해당 부하의 에너지 사용패턴 및 요금변화 추이를 매 측정시간에 대해 파악할 수 있다.

■ 24-Hour Energy/Cost Profile-Day

만약 어떤 특정일에 전체 에너지 사용량이 급증하였다면, 사용자는 각 부하 또는 다수의 특정 부하가 해당일의 에너지 사용량에 어느 정도 영향을 제공하였는지 확인하고자 할 것이다. 이와 함께, 해당일의 각 부하의 에너지 사용량이 특정 시간대에 집중되어 자신의 최대전력량이 계약전력을 초과하는 지 여부도 확인하기를 원할 수 있다. 이를 위해, 개발된 LMS는 24-Hour Energy/Cost Profile-Day 분석유형을 제공한다. 이 분석유형을 통해, 사용자는 특정일에서의 다수의 부하에 대한 에너지 사용정보 및 요금정보를 비교·분석할 수 있다. 그러므로, 사용자는 이 분석유형을 이용하여 특정일에 대한 선택된 부하들의 에너지 사용결과와 요금산정 결과에 대한 정보를 시간대별로 확인하여 해당일의 에너지 사용량 및 이에 따른 요금에 가장 많은 영향을 제공한 부하를 판별할 수 있으며, 각 부하의 시간대별 에너지 사용정보 및 이와 관련된 요금정보를 얻을 수 있다.

■ Energy/Cost Aggregation

사용자의 에너지 사용량 및 이에 대한 요금은 날씨, 온도 등의 외부환경 및 기타 다양한 원인으로 인해 일차별로 크게 달라질 수 있다. 만약, 특정일에 에너지 사용이 급증하면, 이로 인해 에너지 사용요금에 급격히 증가하게 된다. 따라서, 사용자는 특정일의 전체 에너지 사용량 가운데 각 부하가 어느 정도의 영향을 제공하였는지 확인하여 각 부하의 에너지 사용량을 제어하고자 할 것이다. 이를 위해 개발된 LMS가 제공하는 분석유형인 Energy/Cost Aggregation이다. Energy Aggregation은 사용자가 선택한 기간 동안 각 부하에서 사용된 일일 총 에너지 사용량을 각각의 비교대상일에 대해 나타낸 것이며, Cost Aggregation은 같은 방법으로 사용 요금을 비교한 것이다. 이러한 결과를 바탕으로, 사용자는 각 부하의 일일 총 에너지 사용량과 요금을 다른 부하들과 일별로 비교·분석하여 분석대상일 동안의 에너지 사용량에 가장 많은 영향을 제공하는 부하를 판별할 수 있다.

2.3 Scenario Analysis 기능

개발된 LMS는 사용자가 최적의 에너지 사용 스케줄을 결정하는 데 필요한 정보를 지원하기 위해 Scenario Analysis 기능을 제공한다. 이를 위해, Scenario Analysis 기능에서는 LMS 사용자가 적용할 수 있는 모든 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행하여 사용자에게 적합한 에너지 사용 스케줄을 선택할 수 있도록 'What-if' 시나리오 분석방법을 이용한다. 이러한 시나리오 분석은 전체적인 요금절감 정도에 대한 정보를 제공하는 것을 목적으로 하기 때문에, Energy/Cost Analysis와는 달리 사용자가 소유하고 있는 각각의 부하에 대한 분석을 수행하는 것이 아니라 해당 부하들이 위치하고 있는 플랜트 전체 즉, 전기요금 납부대상에 대해 적용한다.

■ Load Shift

경제적 전력시장에서의 전력가격은 시장원리에 의해 결정

되기 때문에, 수요가 집중되는 시간의 전력가격은 급격히 상승하게 된다. 따라서, 소비자는 이러한 시간대에서 에너지 사용을 피하는 대신 수요가 낮은 시간 즉, 전력가격이 낮은 시간대로 에너지 사용을 이전함으로써 상대적으로 에너지비용을 절감할 수 있다. 소비자는 이전 가능한 에너지 사용량과 이전대상 시간대를 결정한 후, 부하이전 전·후의 요금산정 결과를 비교하여 자신이 생각하고 있는 에너지 사용스케줄에 대한 대안이 적합한 지 여부를 판별해야 한다. 부하이전 시나리오 적용 후의 요금산정 결과는 다음과 같다.

$$AC = BC - \sum_{s=1}^{s_1} P_s R_s + \sum_{e=1}^{e_1} P_e R_e \quad (3)$$

단, AC : 해당 시나리오 적용 후의 요금

BC : 해당 시나리오 적용 전의 요금

s : 부하이전을 통해 전력을 절감하고자 하는 시간대

e : 절감전력을 이전하고자 하는 시간대

P : 전력 사용량(kWh)

R : 사용량 요금단가

■ Peak Reduction

현재 우리나라의 전기요금은 용량(kW)요금과 사용량(kWh)요금으로 구성되어 있다. 특히, 용량요금은 기본요금으로써, 소비자의 최대수요전력에 해당 요금단가를 곱하여 산정한다. 따라서, 소비자는 자신의 최대수요전력을 감소함으로써, 감소된 에너지 사용량에 해당하는 사용량 요금을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 기본 용량요금 또한 절감할 수 있다. 이에 대한 기본적인 정보를 사용자에게 제공할 목적으로, 본 LMS는 'Peak Reduction' 시나리오를 지원한다. Peak Reduction 시나리오 적용 결과는 다음과 같이 계산된다.

$$AC = BC - \sum_{s=1}^{s_1} P_s R_s \quad (4)$$

단, P_s : Peak Reduction을 통해 절감된 전력사용량

R_s : 해당 시간대에서의 사용량 요금단가

■ 자율절전요금제

현재 한전에서는 최대수요전력의 억제 및 이전을 목적으로 다양한 부하관리 프로그램을 시행하고 있다. 일정 자격을 갖춘 대규모 소비자들은 이러한 부하관리 프로그램에 참여하는 것만으로도 일정액의 지원금을 보조받게 되며, 해당 부하관리 프로그램을 수행함에 따라, 이에 비례해서 추가적인 지원금을 받는다. 또한, 부하관리 프로그램을 수행함으로써 자신의 에너지 사용량감소에 따른 요금절감효과도 얻을 수 있다.

'자율절전요금제' 시나리오는 이와 같은 다양한 부하관리 프로그램 가운데 소비자가 자율절전요금제도에 참여함으로써 얻게 되는 지원금 및 요금절감효과에 대한 분석 결과를 제공한다. 자율절전 시나리오 적용 후 요금산정 결과 및 이에 따른 지원금은 다음과 같이 계산된다.

$$AC = BC - \sum_{s=1}^{s_1} P_s R_s \quad (5)$$

$$PB = \sum_{s=1}^{s_1} P_s \times Rate \times N$$

단, PB : 해당 부하관리제도 수행에 따른 지원금

P_s : 30분 단위 부하조정전력 (=당일 10시~12시 사이의 평균전력·부하조정시간 30분 중 평균전력)

Rate : 부하조정 전력 kW당 지원단가

N : 자율절전 시행 회수

■ 하계휴가보수기간 조정요금제

'하계휴가보수기간 조정요금제' 시나리오 또한 소비자가 현재 한전에서 제공하는 하계휴가보수기간 조정요금제도에 참여할 경우 어느 정도의 경제적 이익을 얻을 수 있는가에 대한 분석정보를 제공한다. 하계휴가 보수기간 조정요금제도는 7·8월의 감액단가가 다르기 때문에, 계약기간이 7월인 경우와 8월인 경우를 별도의 시나리오로 취급한다. 하계휴가 보수기간 조정요금제 시나리오 적용 후 요금 및 지원금 산정

결과는 다음과 같다.

$$AC = BC - \sum_{i=1}^{n_i} P_i R_i \quad (6)$$

$$PB = P_{max} \times Rate \times d$$

단, $P_{i,max}$: 부하조정전력 (=해당일 최대수요전력-계약최대수요전력)

d : 부하조정 일수

■ 직접부하제어요금제

'직접부하제어요금제' 시나리오는 직접부하제어 요금제도에 참여하는 경우, 사용자가 얻게 되는 요금절감 효과에 대한 분석을 수행한다. 현재 시행하고 있는 직접부하제어 요금제도는 예고유형과 계약이행률에 따라 적용되는 감액단가가 다르기 때문에, 개발된 LMS에서는 사용자가 직접 다양한 선택사항을 조합할 수 있도록 하고 있다. 직접부하제어 요금제 시나리오 적용 후 요금 및 지원금 산정결과는 다음과 같다.

$$AC = BC - \sum_{i=1}^{n_i} P_i R_i \quad (7)$$

$$PB = \sum_{i=1}^{n_i} P_i \times Rate \times N$$

단, P_i : 계약 제어전력

$Rate$: 예고유형 및 계약이행률에 따른 계약 제어전력 kW당 지원단가

■ 자가발전

경우에 따라서는 발전사업자로부터 필요한 전력을 구입하는 것보다 자신이 소유하고 있는 자가발전을 가동하여 전력을 공급하는 것이 더 경제적이다. 이와 같은 경우에 대한 시나리오를 반영하기 위해 본 LMS에서는 '자가발전' 시나리오를 제공하고 있다. 자가발전 시나리오 적용 후의 요금산정 결과는 다음과 같다.

$$SC = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_{ij}} P_{G_j} C_{ij} \quad (8)$$

$$AC = BC - \sum_{i=1}^{n_i} P_i R_i + SC$$

단, SC : 자가발전 비용

m : 자가발전기 대수

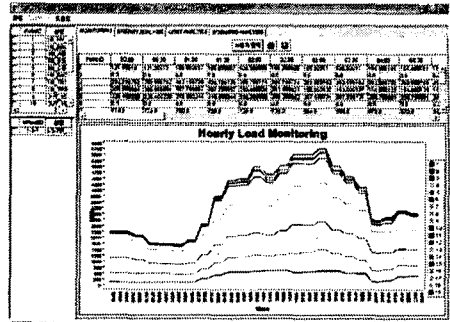
C_{ij} : 해당 자가발전기의 연료비 단가

3. 새로운 부하관리시스템을 이용한 최적 부하소비전략 수립

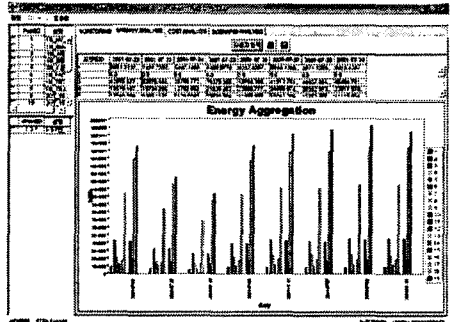
본 논문에서는 19개의 부하(Point)를 갖는 1개의 플랜트를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 또한, 부하 1, 부하 3 그리고 부하 7을 하나의 그룹으로 지정하여, 가상부하 1-3-7을 설정하였다. 2001년 8월 31일 24:00 현재까지의 각 부하(포인트)의 에너지 사용량에 대한 모니터링 결과는 <그림 1>과 같다. 모니터링 결과, 부하 11을 제외한 모든 부하는 15:00~16:30 사이에 가장 많은 에너지를 소비하고 있음을 알 수 있으며, 특히 부하 7이 가장 많은 에너지를 소비하고 있음을 확인할 수 있다. 각 부하의 매 시간마다의 에너지 소비량 정보는 화면 상단의 테이블에서 제공한다.

2001년 7월 22일부터 7월 29일간 각 부하의 에너지 소비 패턴을 분석하기 위해, 우선 이 기간 동안의 각 부하의 일일 총 에너지 소비량을 확인하였다. 이에 대한 결과는 LMS의 Energy Analysis의 Energy Aggregation 분석유형을 통해 얻을 수 있다(그림 2). 분석 결과, 전체 에너지 소비량은 7월 28일에 가장 많았음을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로, 에너지 소비량이 많은 몇 개의 선택된 부하들의 7월 28일 소비패턴을 확인해보면 <그림 3>과 같다. 이는 Energy Analysis의 24-Hour Energy Profile-Day 분석유형을 통해 확인할 수 있다. 또한 이 기간동안에는 부하 14

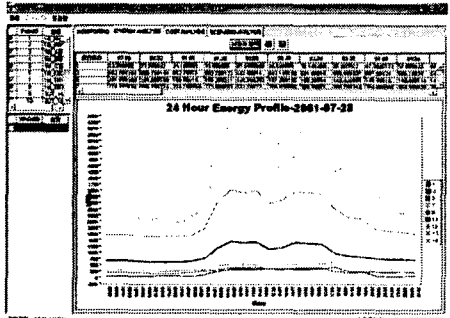
의 에너지 소비량이 다른 부하에 비해서 많음을 알 수 있다. 이 기간동안의 부하 14의 에너지 소비패턴은 Energy Analysis의 24-Hour Energy Profile-Point 분석유형을 통해 확인할 수 있으며, 그 결과는 <그림 13>과 같다.



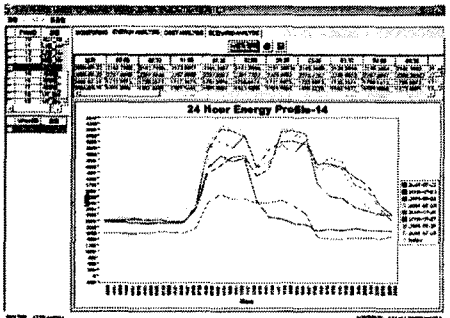
<그림 1> 플랜트 각 부하의 Monitoring 결과



<그림 2> Energy Aggregation 분석 결과

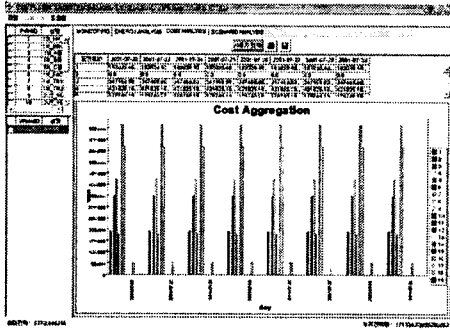


<그림 3> 24-Hour Energy Profile-Day 분석 결과

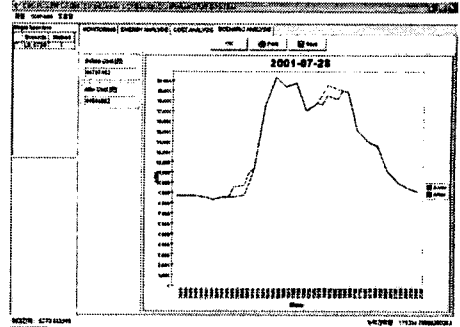


<그림 4> 24-Hour Energy Profile-Point 분석 결과

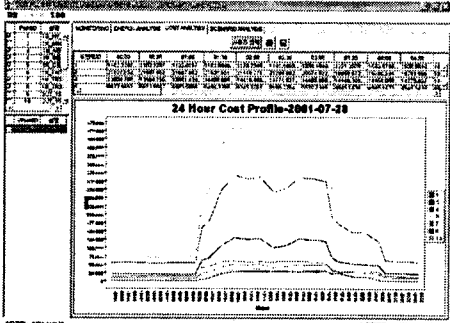
<그림 5>, <그림 6> 및 <그림 7>은 위의 각 Energy Analysis 결과에 대한 Cost Analysis를 수행한 결과이다.



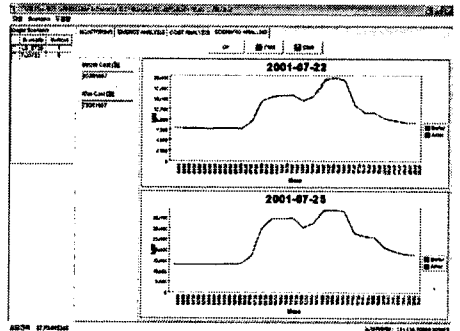
<그림 5> Cost Aggregation 분석 결과



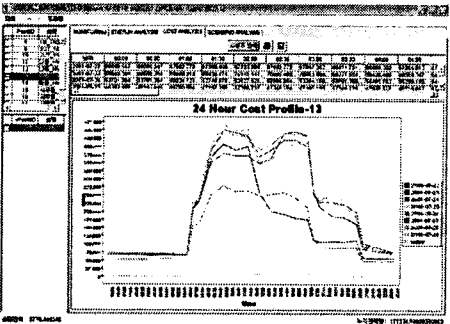
<그림 8> 부하이전 시나리오 분석 결과



<그림 6> 24-Hour Cost Profile-Day 분석 결과



<그림 9> 자율절전 요금제 시나리오 분석 결과



<그림 7> 24-Hour Cost Profile-Point 분석 결과

위의 분석결과를 바탕으로, 시나리오 분석을 수행한다. 본 사례연구에서는 LMS가 지원하는 9개의 시나리오 가운데 부하이전 시나리오와 자율절전요금제 시나리오에 대해서만 분석을 수행하고자 한다. 우선, 최대 에너지 소비일인 7월 28일에 부하이전을 통해 요금절감 효과를 얻을 수 있는지를 확인한다. 이 예에서는 시간당 1000kW를 소비하는 부하 3의 설비에 대해, 에너지 소비가 많은 14:00~16:00 사이에는 이 설비의 가동을 중지하고 대신 이를 에너지 소비가 적은 5:30~7:30에 가동시켰다고 가정하였다. 그 결과, 이와 같은 부하이전을 통해 222,800원의 요금절감 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 <그림 8>에서 보여주고 있다.

또한 7월 22일에서 7월 25일 사이에는 한전에서 시행하는 자율절전요금제도에 참여함으로써 요금을 절감할 수 있다. 만약 이 플랜트가 7월 22일 14:00~16:00 그리고 7월 25일 14:00~16:00 사이에 각각 시간당 1,000kW의 사용전력을 절감할 수 있다면, LMS의 자율절전요금제 시나리오 분석을 통해 이 프로그램에 참여함으로써 요금을 절감할 수 있다. 그 결과, 자율절전요금제에 참여함으로써 1,393,100원의 요금을 절감할 수 있다. <그림 9>는 이 시나리오에 대한 분석 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

경쟁적 전력시장에서 발생하는 전력가격의 가변성과 불확실성으로 인해, 대부분의 전력소비자들은 전력가격정보나 자신이 사용하고 있는 전력 및 에너지 소비패턴과 같은 정보와 소비전략이 없는 경우, 예전에 비해 상당히 많은 에너지비용을 지불해야 하는 상황에 처하게 되었다. 이러한 에너지비용의 절감하기 위한 수단으로서, 새로운 매커니즘의 부하관리 시스템(LMS)이 개발되고 있다.

본 논문에서는 사례연구를 통해, 경쟁적 전력시장에 참여하는 소비자가 새로운 부하관리시스템을 이용하여 자신의 최적 부하사용계획 및 소비전략에 대한 의사결정을 수행하는 과정에 대해 기술하였으며, 그 결과, 소비자는 부하관리시스템을 이용함으로써 보다 많은 전기요금 절감의 기회를 얻을 수 있음을 증명하였다.

5. 참고문헌

- (1) 박종근, 김발호, 박종배, 정도영, "전력산업구조개편개론", 기초전력공학공동연구소, 1999
- (2) Steven Soft, "Power System Economics: Designing Markets for Electricity", 2001.
- (3) 김진호, 한태경, 남영우, 박종배, 김발호, 박종근, 서장철, 이진호, 최중용, "경쟁적 전력시장의 부하관리 시스템에 관한 연구", 2001년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, P41-43, 대한전기학회, 2001.11.16-17
- (4) 정구형, 김진호, 김발호, "경쟁적 전력시장의 원도우 기반 부하관리 시스템 패키지 개발", 2002년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, P441-443, 대한전기학회, 2002. 7.10-12

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원사업으로 수행된 논문입니다.