

주택 및 사무용 빌딩 내 전기기기의 전력 수요 패턴 분석

Power demand pattern analysis for electric appliances in residential and commercial building

노 성 준* 이 순 정* 이 상 우* 김 광 호**
Noh, Sung-Jun Lee, Soon-Jeong Lee, Sang-Woo Kim, Kwang-Ho

Abstract

Recently, Smart Grid is a emerging topic in power and communication industry. Smart Grid refers to a evolution of the electricity supply infrastructure that monitors, protects, and intelligently optimize the operation of the interconnected elements including various type of generators, power grid, building/home automation system and end-use consumers. In order to successful implementation of Smart Grid, energy management function will be the key factor that coordinates and optimally controls the various loads according to the operating condition and environments, and the load patterns in residential and commercial building will be required as fundamental element for load management.

In this study, we collect many types of energy usage data of electric appliances, analyze their load curves, and make the general load patterns for electrical appliance.

키워드 : 전력 수요 패턴분석, 스마트그리드, 에너지절감
Keywords : load pattern analysis, smart grid, energy saving

1. 서론

지난 수십 년간 국내경제의 비약적인 발전과 국민 생활수준의 향상으로 인하여 전력부분의 소비량은 급격히 증가되어 왔으나, 환경문제와 자원 확보의 어려움 때문에 신규 발전설비의 건설이 쉽게 이루어지지 않아, 전력수급상의 문제점이 점차 대두되고 있다. 이러한 전력수급의 문제점을 해결하기 위한 시도는 2가지로 진행되어 왔는데, 첫째는 태양광, 풍력 등의 신재생에너지원을 개발 보급함으로써 환경 친화적인 에너지공급체계를 구축하는 것이고 둘째는 현재 사용되고 있는 전력량을 다양한 방법을 통해 절감함으로써 수요측면의 에너지 절감체계를 구축하는 것이다. 신재생에너지원의 경

우는 아직 경제성이 충분하다고 평가되지 못하고 있기 때문에 두 번째 에너지절감대책을 통해 전력수급상의 문제점을 해결하는 것이 단기적으로 가장 현실적이라고 판단된다. 1차적인 에너지절감은 건물의 설계단계에서 친환경소재, 고효율기기, 단열재 사용 등 패시브한 방법을 사용함으로써 얻을 수 있으며, 2차적으로는 현재 사용되고 있는 전기기기의 사용패턴을 분석하여 가장 경제적이고 효율적인 에너지사용이 될 수 있도록 운전제어 및 관리를 함으로써 구현할 수 있다. 이때 필수적인 요건이 전기기기의 사용패턴인데, 이러한 일반화된 전기기기의 사용패턴을 통해서 사용자가 불편을 느끼지 않으면서도 에너지사용을 최적화할 수 있는 관리제어 시나리오를 만들 수 있게 된다. 그러나 현재 국내에서는 이처럼 에너지관리제어에 사용가능할 정도의 전기기기별 에너지 수요패턴이 만들어져 있지 않은 것이 현실이다.

* 강원대학교 전기전자공학과 학부과정
** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 교신저자

따라서 본 연구에서는 한국전력의 가전기기별 월간 전기사용량과 한국 전력거래소의 가정용 전력소비행태 보고서를 참고하여 주택 및 사무용 건물에서 일반적으로 사용하고 있는 전기기기의 전력사용을 분석하고, 대표기기에 대한 전력 수요 패턴을 도출하였다. 도출된 패턴은 향후 주택 및 사무용 건물의 에너지 관리 시스템의 기본 데이터로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 가정용 기기의 전력수요 분석

가정용 전력부하는 전력 소비의 다양한 변동 요인을 포함하고 있다. 이러한 중·단기적인 요인으로 전기기기 보급률 증가, 요일, 계절, 재실 시간 등을 고려해야 한다. 가정용 부하는 평일, 주말에 따라 재실 시간이 다르고 계절별로 사용하는 전기기기 사용 시간도 차이가 있기 때문에 이런 사항을 고려하여 전력 수요 패턴을 분석하였다. 먼저 가정용 부하특성을 분석하기 위하여 한국전력의 가전기기별 월간 전기 사용량과 한국 전력거래소의 2006년 가정용 전력 소비행태를 참고하였다.

가정용 부하의 시간당 부하별 전력소비량은 크게 2가지 방법으로 도출하였다. 첫 번째 방식은 시간대별 사용대수와 비율을 통해서 시간당 사용확률을 도출하고 표 1과 같은 일일평균사용시간을 곱하여 시간당 부하별 전력소비량을 이끌어내는 방식이다. 이는 수식으로 표현하면, 다음과 같다.

표 1. 부하별 평균소비전력&일일평균사용시간

가전기기	평균소비전력 (KWh)	일일평균 사용시간(분)
TV	135.1	414
세탁기	494.5	88
에어컨	1725	279
냉장고	67	1440
김치냉장고	30	1440
전기다리미	1118.2	28
컴퓨터	168	252
전자레인지	1010.2	22
진공청소기	899.1	38

$$\frac{A}{B} = C \quad (1)$$

$$C \times D = E \quad (2)$$

$$E \times F = G \quad (3)$$

여기서, A=시간당 부하별 사용대수(대)
 B=일일 부하별 총 사용대수(대)
 C=시간당 부하별 사용 확률
 D=부하별 평균 사용시간
 E=시간당 사용시간(추정치)
 F=부하별 평균소비전력
 G=시간당 부하별 전력소비량(KWh)

시간당 부하별 전력소비량을 구하기 위한 2번째 방법 표 2와 같은 방법으로 도출하였다.

표 2. 가전기기별 월간 전기사용량

기기 명	용량 (W)	사용시간	전력량 (KWh)
칼라TV	137	5시간×30일=150H	20.5
선풍기	60	5시간×30일=150H	9
전기다리미	600	30분×30일=15H	9
전기밥솥 (보온)	100	10시간×30일=300H	30
전기밥솥 (취사)	100	30분×30일=15H	15
김치냉장고	27	10시간×30일=300H	19
냉장고	70	10시간×30일=300H	50
믹서	250	30분×30일=15H	3.8
후라이팬	800	1시간×30일=15H	24
커피포트	500	20분×30일=10H	5
전기세탁기	500	20분×30일=10H	5
전기청소기	500	20분×30일=10H	5
전기토스터	800	20분×30일=10H	8
에어컨	1,800	6시간×30일=180H	324
전기난로	850	4시간×30일=120H	102
컴퓨터	130	2시간×30일=60H	7.8
전기장판	150	12시간×30일=360H	54
백열등	60	5시간×30일=150H	9
형광등	24	5시간×30일=150H	3.6
가습기	42	10시간×30일=300H	12
전자레인지	1,100	10분×30일=5H	5.5

이는 가정용 기기별 용량과 일별 사용시간을 이용하여 일일 소비전력량을 파악하는 방법이다. 이 방법 사용한 이유는 참고자료로 이용한 전력거래소의 가정용 전력소비행태 자료에 계절에 관한 정보가 부족하기 때문에 이용한 것이다. 이는 부하의 평균적인 용량에 시간을 곱하여 산출한 방식인데 이를 수식은 다음과 같다.

$$K \times W = H \quad (4)$$

여기서, K = 부하의 평균 용량(KW)

W = 시간(일일평균사용시간 * 30일)

H = 부하별 평균 전력소비량

본 논문에서는 총 10개의 가정 부하를 대상으로 전력 수요 패턴을 산출하였는데 10개 선정 기준은 일반가정의 보급률이 높은 기기와 특정계절에 사용되는 계절부하를 선정하였다. 전력 수요 패턴의 산출과정을 알아보면 그림 1과 같으며 산출과정을 통한 컴퓨터의 일일 전력수요곡선은 그림 2와 같다.

컴퓨터는 주말의 제실시간이 평일에 비해 비교적 길기 때문에 평균적으로 조금 더 높게 나타났다. 또한, 낮 시간대에는 평일보다 주말의 전력소비량이 많고 저녁시간대에는 주말보다 평일의 전력소비량이 많다. 또한 낮 시간보다 저녁시간대의 전력소비가 많은 특징을 지니고 있다.

전자레인지의 식사시간대에 사용량이 급증하고 이외의 시간에서는 사용량이 없는 편이다. 가정용 기기이기 때문에 아침식사 7-8시에 가장 많은 사용량을 보이고 저녁식사 18-19시에도 많은 사용량을 보인다.

TV의 전력 수요 패턴 산출과정은 그림 5와 같으며 가정에서 가장 보편적으로 사용되는 기기로 평일에는 늦은 시간에 전력사용량이 많으며, 주말에는 낮 시간에 전력사용량이 많다는 점을 알 수 있다.

세탁기의 전력 수요 패턴 산출과정은 그림 7과 같으며, 전력 수요 패턴의 특징은 이른 아침이나 늦은 저녁시간에는 거의 사용되지 않으며 오전시간, 낮 시간에 또한 평일보다 주말에 사용이 많아지는 특징이 있다.

진공청소기의 전력 수요 패턴 산출과정은 그림 9와 같으며 오전 시간대에 사용량이 집중되어 있으며 평일보다는 토요일에 사용량이 많다.

에어컨 및 선풍기 전기장판은 특정계절에만 쓰이는 기기로 계절별 월 전력사용량변화에 직접적으로 영향을 주는 요인이다. 특히 에어컨의 경우는 하계에 중점적으로 쓰이는 부하로 여름철 피크전력발생에 가장 큰 요인으로 작용하며, 가정에서의 전력사용량의 상당량을 차지하고 있다.

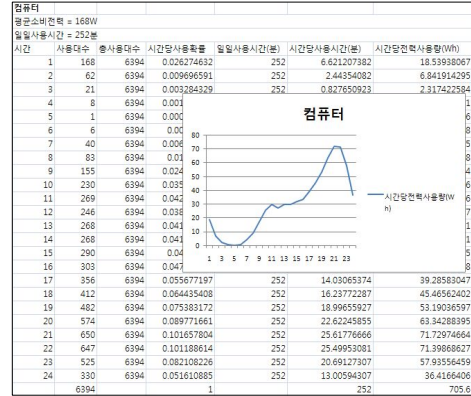


그림 1. 컴퓨터 전력 수요 패턴 산출과정

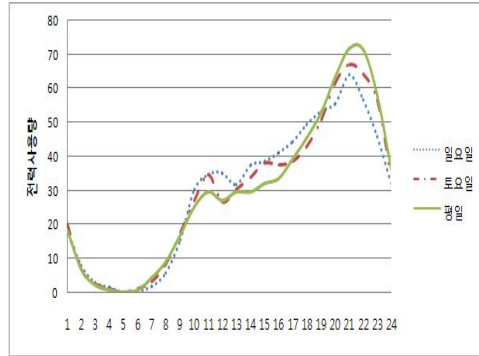


그림 2. 컴퓨터 일 전력수요곡선

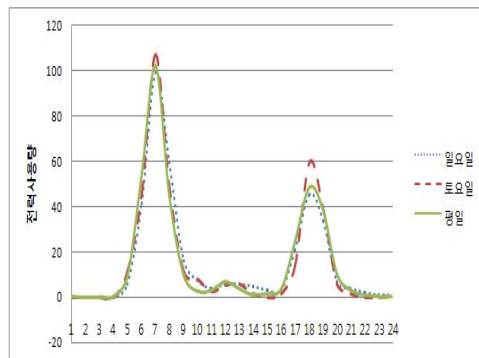


그림 3. 전자레인지 일 전력수요곡선

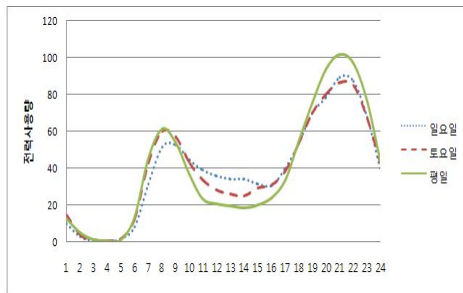


그림 4. TV 일 전력수요곡선

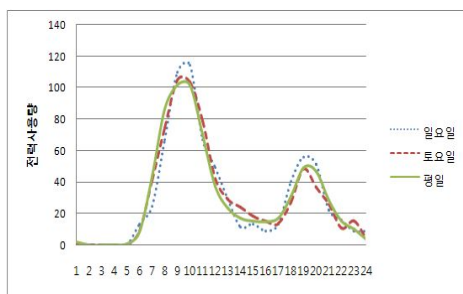


그림 5. 세탁기 일 전력수요곡선

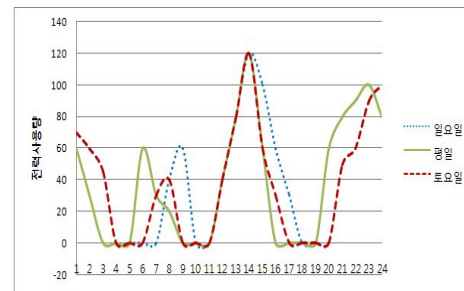


그림 8. 선풍기 일 전력수요곡선

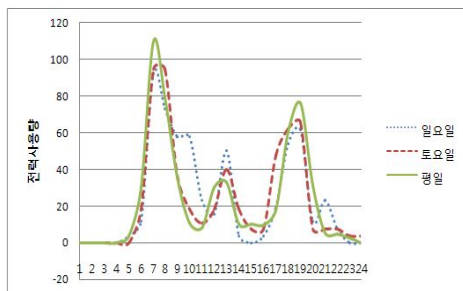


그림 6. 진공청소기 일 전력수요곡선

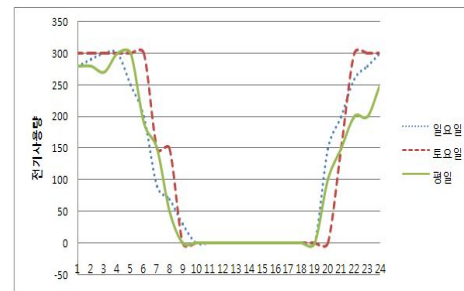


그림 9. 전기장판 일 전력수요곡선

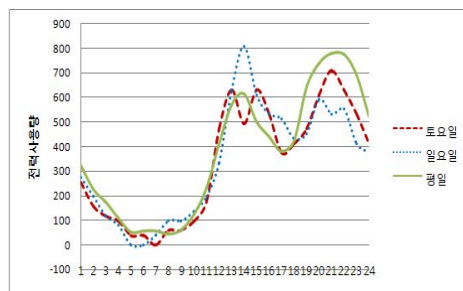


그림 7. 에어컨 일 전력수요곡선

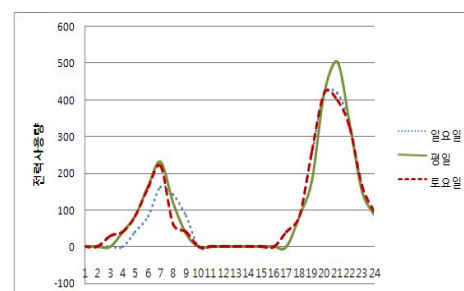


그림 10. 조명 일 전력수요곡선

전기장판 역시 동계에 사용되는 계절기부하로 주로 취침시간에 사용이 집중되어 있는 기기이다. 대부분 취침하면서 전기장판을 사용함을 알 수 있고 활동시간대에는 거의 사용을 하지 않음을 알 수 있다. 각각의 전력수요곡선은 아래와 같다.

조명부하는 계절과 상관없이 지속적으로 소비되는 부하이며, 주택에서 상당한 전력을 소비하는 부하이다. 단, 해가 짧아지는 동계에 하계보다 사용량이 증가하게 된다. 가정에서의 조명은 재실시간과 연관이 크며 출·퇴근 시간대에 사용량이 급증하게 된다.

지금까지 가정용 기기 중 TV, 세탁기, 컴퓨터, 진공청소기, 전자레인지, 에어컨, 선풍기, 전기난로, 전기장판, 조명을 대상으로 전력 수요 패턴과 산출 과정을 알아보았다. 가정용 부하는 평일과 주말의 재실시간이 상이하기 때문에 평일, 토요일, 일요일로 나누어 결과를 나타내었으며 TV나 컴퓨터 등의 가전기기는 낮 시간대에 평일보다 주말이 소비 전력량이 많고 저녁시간대는 반대로 평일이 오히려 전력소비량이 많았다. 주말에는 평일에 비하여 재실시간의 변동요인이 많기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 예측된다. 계절부하가 아닌 가전기기들은 1년 동안 계절 및 일일, 동 시간대에 소비 전력량이 비슷하고 전력수요곡선이 비슷한 모양으로 나오는 것을 알 수 있다.

계절기기 부하들은 연중 해당 계절에만 사용 되고 전력수요곡선은 요일별로는 크게 차이가 없는 것으로 보이지만 일반기기에 비해 차이가 약간씩 나는 것을 보였다. 그리고 전력 수요 패턴에서 별로 피크전력은 대부분 출근시간이나 퇴근시간 이후 발생하는 것으로 나타났고 가정집의 특성상 식사시간이나 밤에 부하가 높게 나타나는 기기들도 있었다. 반대로 낮 시간대에는 출근 및 등교로 인한 재실자의 감소로 전력사용량이 상대적으로 적은 결과가 나타났다.

3. 사무용 기기의 전력수요 분석

사무용 건물인 강원도 춘천시 온의동 교원공제회관에 대한 전력 수요 패턴의 특성을 분석하기 위하여 한국전력 강원지사의 1년간의 일별·시간대별 전력사용량 상세내역을 이용하였다.

중간부하, 최대부하, 경부하는 부하 사용량을 나타내는 범위로서, 계절과 시간에 따라 구분되며 한국 전력의 구분 기준은 표 3과 같다.

표 3. 일반용 전력 및 산업용 전력의 계절, 시간별 구조

일반용 전력(을) 및 산업용 전력(병)			
계절별	여름철	봄·가을철	겨울철
시간대별	7월~8월	4월~6월, 9월	10월~익년 3월
경부하	22:00~08:00		22:00~08:00
중간부하	08:00~10:00		08:00~16:00
	12:00~14:00		20:00~22:00
	17:00~22:00		
최대부하	10:00~12:00		16:00~20:00
	14:00~17:00		

표 3에서 겨울철의 중간부하 시간이 더 긴 이유는 야간 시간대의 조명부하의 증가와 주간시간대의 난방기 사용증가의 계절상 특징으로 인한 사용량 변화이다.

또한, 본 논문에서는 현재 춘천의 교원공제회관에서 사용 중인 여러 기기들 중에서 표 4와 같이 일반기기인 냉장고, TV, PC, 프린터, 파쇄기, 복사기, 조명, 전화기와 계절기기인 에어컨, 선풍기, 난방기에 대한 전력 수요 패턴을 분석하였다. 각 기기에 대한 소비전력은 '2006 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사'의 주요기기의 규격 및 소비전력 자료를 바탕으로 하였으며, 조사 대상에서 제외된 기기의 소비전력은 해당기기의 소비전력 분석표를 참고하였다.

이와 같은 데이터를 종합하여 각 부하의 일일부하곡선을 산출하였으며 내용은 다음과 같다.

표 4. 주요기기의 규격 및 소비전력

구분	소비전력(W)
TV	135.1
냉장고	67.0
선풍기	60.0
에어컨	1,725.0
PC	168.1
프린터	430
파쇄기	1350
복사기	1500
전화기	5.2
조명	25.7

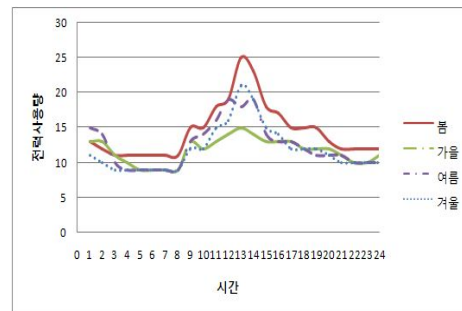


그림 11. 냉장고 일 전력수요곡선

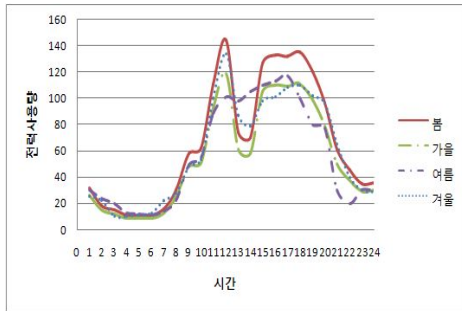


그림 12. PC 일 전력수요곡선

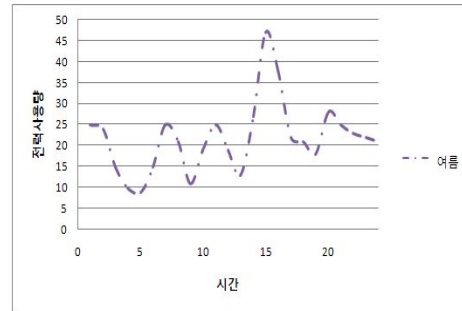


그림 16. 선풍기 일 전력수요곡선

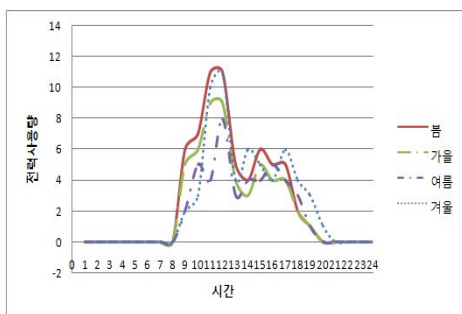


그림 13. 복사기 일 전력수요곡선

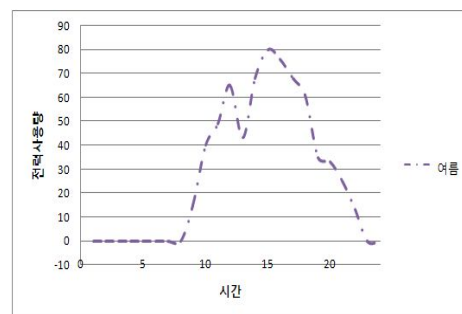


그림 17. 에어컨 일 전력수요곡선

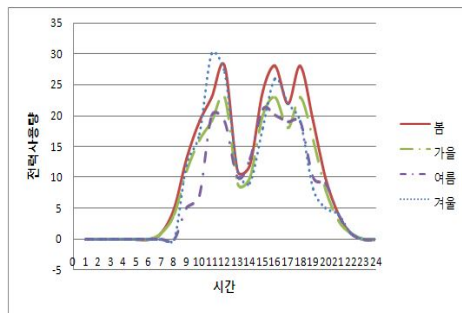


그림 14. 전하기 일 전력수요곡선

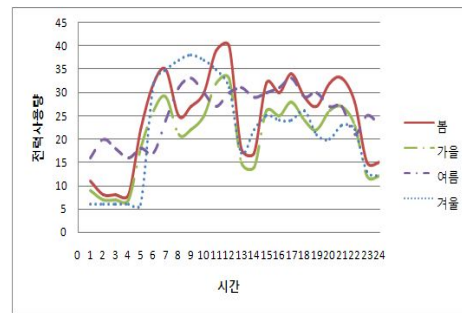


그림 18. 조명 일 전력수요곡선

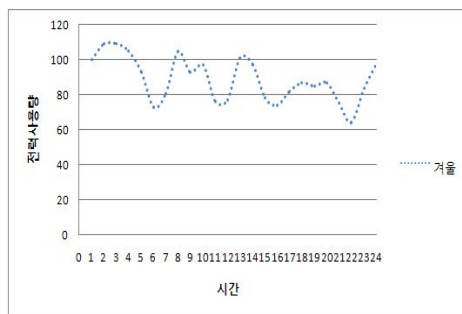


그림 15. 난방기 일 전력수요곡선

대부분 기기의 전력사용량이 사무활동 시간에 집중되어 있었으며, 점심시간대의 점심시간의 휴식에 따른 일시적인 전력사용량 감소가 예상된다. 위 그래프에서 계절부하인 선풍기와 에어컨은 여름철, 난방기는 겨울철 사용량을 이용하였다.

사무용 건물의 전력 수요 패턴은 가정용 건물의 전력 수요 패턴과 사용시간이나, 사용특성상의 차이가 있기 때문에 요일별로 분석하지 않고 계절별 분석을 실시하였다. 사무용 건물의 부하는 주5일제의 영향으로 인해 주말에는 사용량이 미미하거나 없기 때문이다.

대상으로 선정된 교원공제회관은 중앙 공조기를

이용해 냉난방을 하지만 사무실 개별 냉난방 부하의 사용량이 많아서 에어컨과 난방기의 사용량이 높은 것을 볼 수 있다. 산출된 기기들의 부하관리시스템의 적용시 기준 전력사용량을 제시하였으며, 적절한 부하관리시스템은 건물에서의 효율적인 전력사용을 도모하고 불필요하게 낭비되는 전력사용의 방지 및 피크전력시 전력사용량 절감을 통하여 실질적인 전기요금 절감의 기대효과와 국가적으로 전력계통 안정도모와 발전비용절감에 이바지 할 수 있으리라 기대된다.

관리 기기로는 조명과 PC, 에어컨, 선풍기를 예로 들었으며 조명과 PC의 경우 사무실용 빌딩에서 가장 많은 전력사용량을 보이는 부하이며 에어컨 및 선풍기는 여름철 피크전력 발생에 직접적인 영향을 주는 기기이므로 선정하였다.

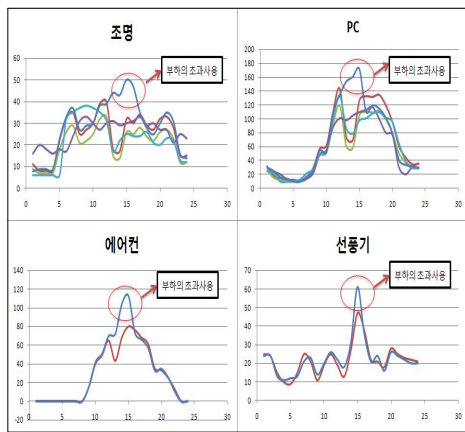


그림 19. 기기의 초과 전력 사용량

위와 같이 전력 수요 패턴을 분석을 통한 기준 전력사용량을 초과한 기기를 진단하고 분석함으로써 기기별 제어 및 차단이 가능해 진다.

위 그림과 같은 부하관리시스템의 부하관리 방법에는 최대부하의 억제(Peak Clipping), 최대부하의 이전(Peak Shifting), 심야부하의 창출(Valley Filling)이 있다. 이런 방법을 통해서 피크시간대의 전력사용량을 줄이고 경부하 시간대로 부하의 이전을 통하여 설비이용률 높이고, 전기요금의 절감효과를 기대할 수 있다. 하지만 국가적으로 다음과 같은 부하관리시스템의 지원은 미미한 실정이다. 부하관리 시스템을 위한 적절한 요금제 도입 및 인센티브 지급 등의 정책적인 지원이 필요하다.

4. 결론

본 논문에서는 시간대별 사용대수와 비율을 통

해서 시간당 사용 확률을 도출하여 일일평균사용 시간을 곱하여 시간당 부하별 전력소비량을 계산하는 방법과 기기별 용량과 일별 사용시간을 이용하여 일일 소비전력량을 파악하는 방법, 두 가지 방법을 이용하여 가정용 및 사무용 건물의 전력 수요패턴을 분석하였다.

전력 수요 패턴을 분석한 전력수요곡선으로 각 건물의 용도별로 전력 수요 패턴이 다르고 계절별, 요일별로 차이점이 있는 것을 알 수 있다. 이러한 전력수요곡선을 분석하여 주택부문 장·단기 전력수요 예측의 정도예측과 부하곡선 예측, 가전기기에 대한 전력수요관리 방안수립, 주택용·상업용 부하에 대한 계절별·시간대별 전력부하이행 유도방안수립, 부하평준화를 유도하기 위한 판매정책수립, 에너지 절약과 차후 에너지 관리 부분에서의 비교 기준 자료로 활용 될 수 있다. 또한 과거의 소비전력량을 파악하여 초과하는 부분에 있어 제어와 관리를 통하여 사용량을 줄일 수 있게 하는데 논문의 목적을 두었다.

부하별 전력 사용량의 패턴을 계절, 시간별로 분석함으로써 각각의 전력 수요 패턴에 대한 효율적인 건물 EMS(Energy Management System)의 제어 실시가 가능해진다. 결과적으로 전력 소비자는 보다 합리적인 전력 이용을 위한 참고자료가 될 수 있을 것으로 보이며 이는 수동적인 소비자에서 능동적인 소비자로 변화함으로써 에너지 절약 및 전력부하관리의 기초가 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 전력거래소 전력계획처, 2006 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 전력거래소, pp.43~73, 2006.
- [2] 김권수의 1명, 동계부하 08-09년 동계 부하특성 분석 및 시사점, 전력거래소 수요예측팀, pp.4~8, 2009.
- [3] 한국전력공사, 수용가 부하곡선을 이용한 전력사용행태 분석, 통계청, pp.34~35, 40~41, 3 2007.
- [4] 이영석외 3명, “데이터베이스를 이용한 부하 패턴별 수용가 특징 모델링”, 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문집A, pp.416~418 2001.
- [5] 전력거래소 수요예측팀, 최근 전력수요동향 분석, 전력거래소, pp.5~8, 2009.