

논문 2021-58-9-8

AMI 데이터 기반 주택용 전력 누진 및 계시별 요금제 분석

(Analysis on the Residential Progressive and Time-of-use Rates based on AMI Data)

정 재 용*, 김 동 식**, 정 범 진***, 정 영 모****

(Jaeyong Jung, Dong Sik Kim, Beom Jin Chung, and Young Mo Chung[©])

요 약

기존의 누진 요금제는 각 세대의 전기 사용량과 누진 구간에 따라 요금을 계산하는데, 이와 다르게 계절별 시간대별로 사용한 전기 사용량에 따라 단가를 다르게 하여 요금을 계산하는 계시별 요금제의 특성을 본 논문에서는 비교 분석하였다. 이를 위하여 실제 누진 요금제에서 한 시간 단위로 검침한 593가구의 전기사용량 데이터를 사용하였다. 기존 누진 요금제에서 검침한 데이터를 그대로 사용하여 계시별 요금제로 계산하면 총 과금 횟수의 22.6%가 계시별로 했을 때 전기요금은 줄어들고, 77.4%는 전기요금이 증가하는 것으로 분석되었다. 기존 누진 요금제에서 계시별 요금제로 전환하면 전기요금이 절감되는 세대는 전기 사용량이 많은 세대인 것으로 관찰되었다. 본 논문에서는 이러한 분석을 통하여 연간 전기요금과 전기 사용량에 따라 계시별 요금제로 전환 시에 전기요금 측면에서 유리함과 불리함을 예측해보았다. 연간 전기요금을 기준으로 하였을 때 704,000원을 초과하는 세대의 경우 계시별 요금제를 선택하는 것이 유리하고 599,000원 미만의 세대의 경우에는 누진 요금제를 선택하는 것이 유리한 것으로 분석되었다.

Abstract

In the current progressive rate, the electricity bill is calculated based on the usage of electrical energy and corresponding progressive ranges. The time-of-use (TOU) electricity rate, in which the electricity bill is calculated based on different rates depending on the electrical energy used by season and time of day, is comparatively analyzed in this paper. For an experimental analysis, we used practical metering data of 593 households through an advanced metering infrastructure based on the progressive rate. Using the metering data, if we calculate the electricity bills based on the TOU rate, then 22.6% of the total number of billing showed reduced bills and 77.4% showed increased bills. Note that the households of the former case paid relatively high electricity bills based on the progressive rate. We then observe the pros and cons of the TOU rate comparing to the progressive rate through the experimental analysis in terms of the electricity bill. We could observe that the TOU rate is more advantageous than the progressive rate case when the annual electricity bill is higher than 704,000Won and the progressive rate is more advantageous than the TOU rate case when the annual electricity rate is less than 599,000Won.

Keywords : Advanced metering infrastructure (AMI), Progressive rate, Time-of-use rate, Residential low-voltage rate

*학생회원, 전북대학교 컴퓨터공학부(School of Computer Science Engineering, Jeonbuk University)

**정회원, 한국외국대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Hankuk University of Foreign Studies)

***정회원, 서울과학기술대학교 전기정보기술연구소(Research Center of Electrical and Information Technology, Seoul National University of Science & Technology)

****정회원, 한성대학교 전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

© Corresponding Author(E-mail : ymchung@hansung.ac.kr)

※ 본 논문은 2019년도 교육부 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2019R1A6A1A03032119). 정영모의 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

Received ; July 30, 2021

Revised ; August 21, 2021

Accepted ; August 25, 2021

I. 서 론

국내 주택용 전기요금제는 누진 요금제를 기반으로 하여 2018년에 기존 6단계 누진 요금제에서 3단계 누진 요금제로 누진 단계가 완화되어 현재까지 적용되고 있다. 주택용 누진 요금제는 공급전압 레벨에 따라 주택용 저압 누진 요금제와 주택용 고압 누진 요금제로 다시 구분된다. 다음 표 1은 하계(7월-8월)에서의 주택용 고압 누진 요금제와 저압 누진 요금제를 비교한 표이고 표 2는 기타 계절(1월-6월, 9월-12월)에서의 주택용 고압 누진 요금제와 저압 누진 요금제를 나타낸 것이다^[1].

표 1. 주택용 저압 누진 요금제와 고압 누진 요금제(하계)
Table 1. Residential low-voltage and medium-voltage progressive rates (summer season).

내용 요금제	전력량 구간	기본요금 (원/호)	전력량 요금 (원/kWh)
주택용 저압 누진 요금제	300kWh 이하	910	93.3
	301kWh-450kWh	1,600	187.9
	450kWh 초과	7,300	280.6
주택용 고압 누진 요금제	300kWh 이하	730	78.3
	301kWh-450kWh	1,260	147.3
	450kWh 초과	6,060	215.6

표 2. 주택용 저압 누진 요금제와 고압 누진 요금제(기타 계절)
Table 2. Low-voltage and the medium-voltage residential progressive rates (other seasons).

내용 요금제	전력량 구간	기본요금 (원/호)	전력량 요금 (원/kWh)
주택용 저압 누진 요금제	200kWh 이하	910	93.3
	201kWh-400kWh	1,600	187.9
	400kWh 초과	7,300	280.6
주택용 고압 누진 요금제	200kWh 이하	730	78.3
	201kWh-400kWh	1,260	147.3
	400kWh 초과	6,060	215.6

주택용 누진 요금제는 누진 단계별로 각각 다른 기본요금이 부과되며, 세대의 전력사용량에 대해서도 누진 단계별로 각각 다른 사용량 전기요금 단가가 적용된다.

주택용 저압 누진 요금제는 단독주택과 다세대 주택 등의 공동주택에 적용되며, 주택용 고압 누진 요금제는 22.9kV 고압을 공급받는 아파트에 적용된다. 표 1과 2에서 볼 수 있듯이, 주택용 저압 누진 요금제와 고압 누진 요금제의 전력량 구간은 동일하나, 기본요금과 전력

량 요금 단가는 주택용 고압 누진 요금제가 저압 누진 요금제 대비 평균적으로 약 20% 저렴한 것을 알 수 있다. 반면, 주택용 고압 누진 요금제의 경우에는 표 3에서 볼 수 있듯이 공용부 전력사용량을 세대 전력사용량과 합산해서 세대 평균 전력사용량을 계산하므로 공용부 사용량이 증가할수록 누진 효과에 따라 전기요금이 증가하는 특성을 갖고 있다^[2, 3]. 누진제에 기반한 주택용 전기요금제는 전기소비자의 전기에너지 사용 총량을 억제하기 위한 경향이 있어서 소비자의 전기요금체계 개선 요구가 증가하고 있다^[4~6].

표 3. 아파트 전기계약방식과 전기요금제
Table 3. Apartment complex electricity contracts and electricity rates.

계약 방식	세대 전력사용량	공용부 전력사용량
종합 계약	주택용 저압 누진 요금제	일반용 고압 전력(갑) 요금제
단일 계약	주택용 고압 누진 요금제 세대 평균 전력사용량에 주택용 고압 요금 적용	

이러한 소비자의 전기요금제 개선 요구에 따라서 2020년 12월 17일 전기요금체계 개선안을 발표하면서 새로운 주택용 전기요금제인 계시별 요금제(time-of-use rate, TOU rate)를 시범 적용하는 계획을 발표한 바 있다^[7]. 계시별 요금제는 전력 수요관리 효과를 포함하고 있는데, 이러한 계시별 요금제가 도입되는 배경은 정부의 에너지전환 정책에 따른 신재생에너지 보급이 확대 되는 것이 주요 요인이라고 할 수 있다. 신재생에너지 설비 용량은 2020년 기준 20,126MW로 전체 전력 설비 용량의 15.8%를 차지하고 있는 반면에, 신재생에너지의 최대부하수요 시 피크 기여도는 3.3%에 그치고 있다^[8]. 이러한 낮은 피크 기여도는 날씨의 영향을 받는 신재생 에너지의 발전 특성으로 인한 것이다. 안정적인 전력계통운동을 위해서는 신재생에너지의 이와 같은 변동성과 간헐성에 의한 영향을 해소 또는 저감하기 위한 대안이 요구되며, 수요관리 또는 수요반응(demand response) 기능도 이러한 대안 중의 하나이다.

전기요금제 또한 이와 같은 수요관리 기능을 수행할 수 있는데, 대표적인 수요관리 전기요금제로 계시별 요금제를 들 수 있다. 계시별 요금제는 표 4에서 볼 수 있듯이 계절별 시간대별로 전기요금을 차등적으로 부과하여 전력계통에서의 수요시간대 전기 사용량을 기타시간대로 분산하게끔 하는 효과가 기대된다.

표 4. 주택용 계시별 요금제

Table 4. Residential TOU rate.

계절 구분	기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)			
		평 일		주 말	
		수요 (09-21)	기타 (21-09)	토요일 수요	그 외
춘추계 (3월-5월, 9월-10월)	4,310	140.7	94.1	94.1	
동하계 (11월-2월, 6월-8월)		188.8	107.0	107.0	

계시별 요금제를 적용하는 데 필요한 전력 인프라를 지능형계량인프라(Advanced Metering Infrastructure, AMI)라고 한다. AMI는 계량데이터 저장 및 원격통신 기능을 갖춘 스마트미터와 스마트미터의 데이터를 수집하기 위한 통신 시스템으로 구성되어 있다^[9, 10]. 주택용 AMI는 한국전력을 중심으로 2010년부터 본격적으로 보급하기 시작하여 현재 약 1,000만 호의 저압 수용가에 대해서 스마트미터를 포함한 AMI가 보급되어 운용되고 있다^[9, 10].

한국전력에서 구축하고 있는 AMI의 통신방식은 크게 변압기를 중심으로 근처 다수의 세대를 대상으로 유선 또는 무선통신 방식의 로컬네트워크를 구성하는 방식과 스마트미터에서 바로 LTE 모뎀을 통한 이동통신에 의한 원격네트워크 방식으로 구분된다. 이와 같은 AMI를 활용한 계시별 요금제 도입을 위해서 2020년 12월 17일에 전기요금체계개선안에서 제주지역을 대상으로 2021년 7월부터 국내 최초로 계시별 요금제 시범사업 추진 계획을 발표함에 따라, 향후 전기소비자는 자신의 전력사용패턴을 참조하여 누진 요금제와 계시별 요금제 중에서 자신에게 유리한 요금제를 선택할 수 있을 것으로 기대된다. 최근 들어서 AMI 등을 통해서 15분 또는 1시간 주기 단위로 수집되는 각종 데이터를 통해서 AMI 서비스 예측, 전력 수요예측, AMI 네트워크 망 운영관리 등 다양한 분야에서의 활용을 위한 연구가 진행되고 있다^[11~14].

본 논문에서는 AMI가 구축된 아파트 세대에서 기존의 누진 요금제를 기반으로 수집된 AMI 전력 데이터를 사용하여 누진 요금제와 계시별 요금제에 따른 전기요금을 분석하여 전기요금제별 전기요금의 유효성을 비교한다. 이러한 분석은 전기소비자가 자신의 전력정보를 통해서 유리한 전기요금제를 선택할 수 있게 하고자 한다. 본 논문에서 사용한 AMI 데이터는 스마트그리드 확산사업(2016년-2018년)의 일환으로 추진되었던 아파

트 대상 AMI 구축사업을 통해서 세대 계량데이터 중에서 593세대로 구성된 아파트 1개 단지의 12개월 동안의 유효전력 측정 데이터이다.

본 논문의 구성은 제 II장에서 누진과 계시별 요금제의 기본 특성을 소개하고 AMI를 통해 수집한 데이터를 사용하여 관찰한다. 제 III장에서는 AMI 데이터를 기반으로 심도 있게 누진제와 계시별 요금제를 비교 분석하고 마지막 장에 결론을 내린다.

II. 누진 요금제와 계시별 요금제 특성

본 논문에서 사용된 아파트 동별 가구 수를 표 5에 보였으며, 분석에 사용된 총가구 수는 593이다.

표 5. 분석에 사용된 동별 가구 수

Table 5. Number of households by building used in the analysis.

동	1	2	3	4	5	6	7	8	합계
가구 수	63	86	87	85	93	63	26	90	593

각 가구의 전기사용량은 15분 간격으로 AMI를 통하여 전송되어 서버에 기록되었다. 이 자료를 토대로 하여 각 가구의 월별 사용량을 계산하였다. 그림 1에 전체 593가구의 월별 최대 전기사용량('max'), 최소 사용량('min'), 평균사용량('avg'), 그리고 표준편차값('SD')을 제시하였다.

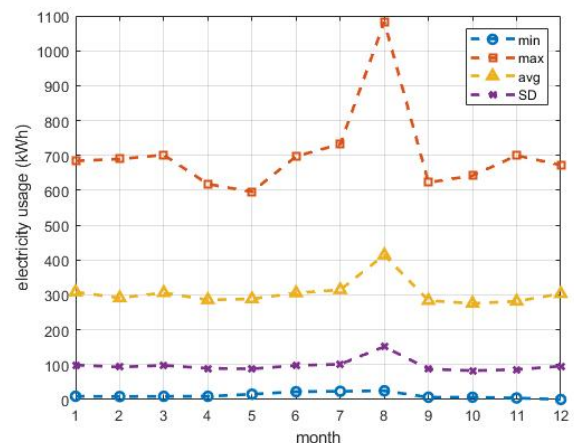


그림 1. 가구별 월 전기사용량

Fig. 1. Monthly electricity usage of each household.

그림 1로부터 전체 가구의 월 전기사용량의 평균값은 1월-7월, 9월-12월에서 대체로 비슷하게 관찰되나, 8월에는 큰 값으로 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 하절

기의 냉방장치 가동으로 인한 전기사용 증가로 판단된다. 반면 동절기에는 전기사용량의 변화가 크게 관찰되지 않는데, 이는 주택용 난방의 경우 대부분 도시가스, 지역난방 등을 이용하여 이루어지기 때문이다.

다음 그림 2에는 월 전기사용량을 0~100kWh, 101kWh~200kWh, 201kWh~300kWh 등 0에서부터 1,100kWh를 100kWh 폭의 11개 구간으로 나누어 각 구간별 전기사용량의 가구 수를 측정한 히스토그램을 보였다. 가로축은 월 전기사용량이고 세로축은 구간에 해당하는 가구 수이다. 그리고 각 구간에는 1월에서 12월의 색깔이 각각 다른 막대그래프를 보였다. 8월을 제외한 나머지 달에서는 201kWh~300kWh 구간의 가구가 가장 많으며, 8월에는 301kWh~400kWh 구간의 가구가 가장 많은 것으로 관찰된다. 그리고 8월의 월 전기사용량은 다른 월과는 다르게 여러 구간에 걸쳐서 넓게 퍼져 있음이 관찰되는데, 이는 그림 1에서 관찰되듯이 8월의 큰 표준편차값과 부합되는 결과이다.

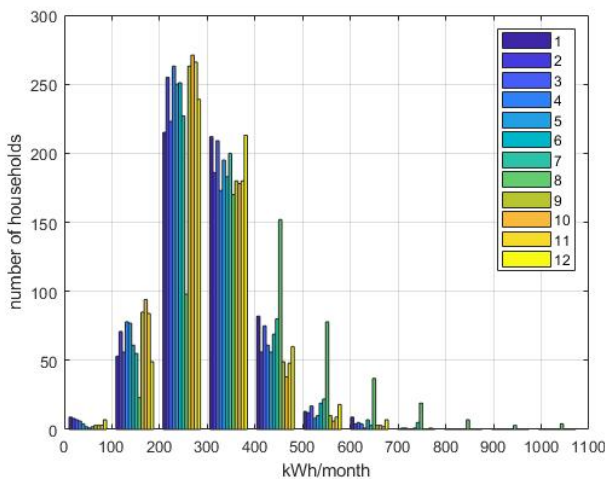


그림 2. 월 사용량에 대한 가구 히스토그램
Fig. 2. Household histogram of monthly usage.

1. 누진 요금제를 적용한 경우 전기요금 분석

앞에서 구한 월별 전기사용량을 이용하여 누진 요금제를 적용한 경우 각 가구의 전기요금을 분석한다. 각 가구의 전기사용량에 따라 누진 요금제를 적용한 경우, 각 가구의 월별로 계산한 전기요금 결과를 그림 3에 보였다. 그림 3에서 각 가구의 전기요금은 '○' 기호로 해당 월에 겹쳐서 보였다. 봄과 가을에 해당하는 4월~5월과 9월~10월의 전기요금이 상대적으로 낮으며, 1월~3월, 7월~9월, 11월~12월의 전기요금은 상대적으로 높다. 하계인 8월에는 누진 2단계와 3단계의 적용 전력량구간을

다른 달에 비하여 넓어지지만, 8월의 전기요금은 연중 가장 높게 관찰되고 다른 월의 전기요금과 격차도 큼을 알 수 있다. 반면 7월은 하계의 2단계 전력량구간을 적용받은 영향으로 이전 달과 비교하여 전기요금이 조금 감소함을 관찰할 수 있다.

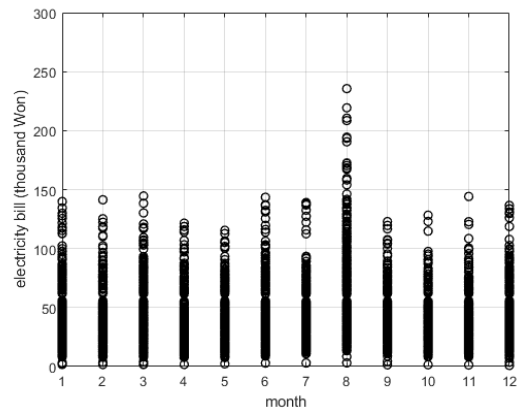


그림 3. 누진 요금제 적용 시 월별 가구의 전기요금 분포도
Fig. 3. Scatter diagram of monthly household electricity bill with the progressive rate.

한편 월에 무관하게 약 55,840원 지점에서 전기요금의 불연속이 관찰되는데, 이는 누진 요금제의 2단계 구간에서 3단계 구간으로 넘어가는 지점에서 기본요금이 1,600원에서 7,300원으로 증가하는 것에 기인한다.

각 가구 전기요금의 최대값, 최소값, 평균과 표준편차를 월별로 구하여 그림 4에 보였다. 가장 위의 곡선인 최대 전기요금 가운데서 가장 큰 값은 8월에, 가장 작은 값은 5월에 발생하며 그 값은 각각 약 236,000원과 115,000원이다. 월별 각 가구의 평균 전기요금은 8월을 제외하면 약 34,000원~41,000원 범위에 있어서 월별로 큰 차이가 없다. 월별 각 가구 전기요금의 표준편차 역시 8월을 제외한 나머지 달에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

다음 그림 5에는 요금을 25,000원 구간으로 나눈 히스토그램을 보였다. 히스토그램에서 가구 수는 월별로 구분하여 집계하였으며, 각각의 월은 히스토그램에서 색으로 구별하여 표시하였다. 그림의 결과로부터 25,000원~50,000원 사이의 가구가 월에 무관하게 가장 많음을 알 수 있다. 그리고 8월을 제외하면 0~25,000원 사이 요금 구간의 가구가 두 번째로 많다. 8월의 경우에는 두 번째로 많은 구간이 50,000원~75,000원으로 다른 월과는 다른 분포 특징을 가진다. 그리고 0~25,000원 구간은 세 번째 많은 구간임을 관찰할 수 있다. 이상의 결과로부터

터 누진 요금제에서는 많은 가구가 월 50,000원 이하의 전기요금을 낸다는 것을 알 수 있다. 이 구간의 전기요금을 납부하는 가구의 비율은 전체 가구의 80.1%이다.

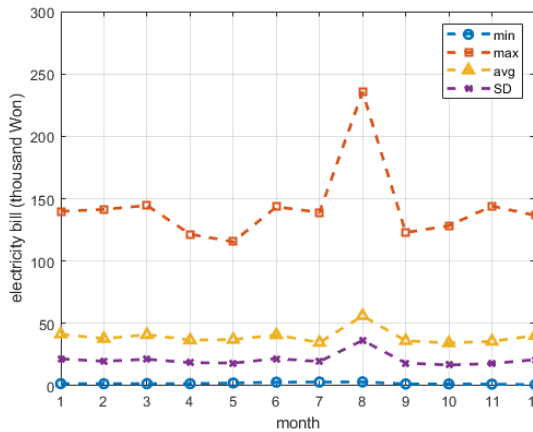


그림 4. 누진 요금제 적용 시 월별 각 가구의 전기요금 특성곡선

Fig. 4. Characteristic curves of monthly electricity bill for each household with the progressive rate.

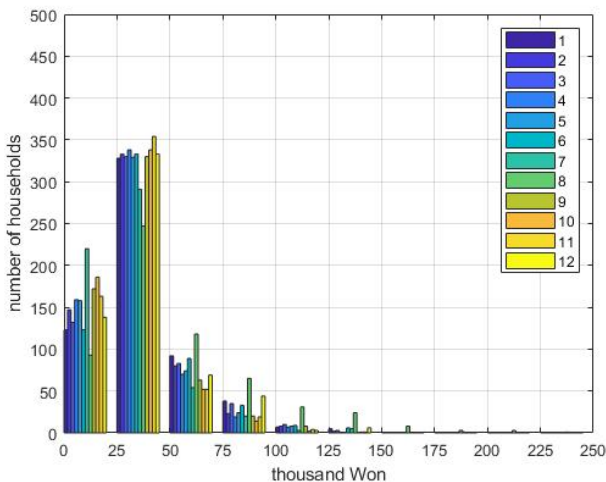


그림 5. 누진 요금제의 전기요금에 대한 가구 히스토그램
Fig. 5. Household histogram of electricity bill with the progressive rate.

누진 요금제에서 관찰되는 특징은 8월에 전기요금의 큰 증가가 있고, 나머지 월들에서 전기요금은 거의 비슷하여 큰 차이가 없다는 것이다. 8월에는 냉방장치로 인하여 전기사용량이 가장 많다. 그리고 누진 요금제에서는 전기를 많이 사용하는 경우 누진 단계의 상승이 발생하고, 높아진 누진 단계에서는 기본요금과 전력사용량 요금 단가도 높아지므로 각 가구의 전기요금이 크게 증가하게 된다.

2. 계시별 요금제를 적용한 경우 전기요금 분석

15분 간격으로 측정된 가구별 전기사용량을 이용하여 계시별 요금제를 적용한 경우의 가구별 전기요금을 분석한다. 표 4의 계시별 요금제에서 주말의 전기량 요금은 평일 기타 시간의 전기량 요금과 동일하므로, 평일 기타 시간의 전기사용량에 주말의 전기사용량이 합산된 값을 전체 기타 시간 전기사용량으로 산정하였다. 각 가구의 전기요금에 계시별 요금제를 적용한 경우, 월별로 계산한 전기요금 결과를 그림 6에 보였다. 그림 6에서 각 가구의 전기요금은 '○' 기호로 해당 월에 제시되었다.

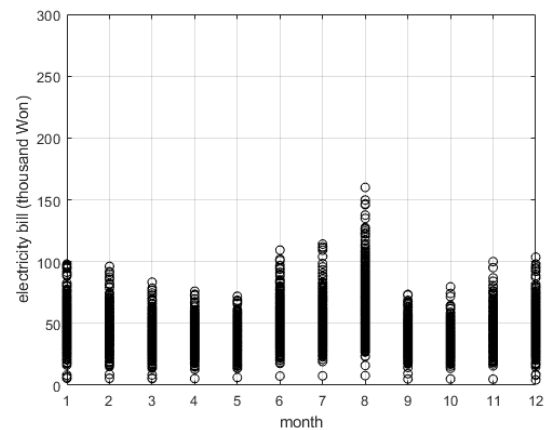


그림 6. 계시별 요금제 적용 시 월별 가구의 전기요금 분포도

Fig. 6. Scatter diagram of monthly electricity bill for each household with the TOU rate.

계시별 요금제의 춘추계에는 수요시간 및 기타시간의 kWh당 요금이 동하계에 비하여 낮다. 그림 6에서 4월-5월과 9월-10월의 요금이 다른 달에 대하여 전반적으로 낮게 나오는 경향이 보이는데 이는 이 기간에는 춘추계 요금이 적용되었기 때문이라고 판단된다. 실제 전기사용량을 보면 이 기간의 전기사용량이 다른 기간의 전기사용량에 비하여 낮지 않음을 확인할 수 있다.

그리고 다음 그림 7에는 각 가구의 전기요금에서 최대값, 최소값, 평균값, 그리고 표준편차를 월별로 구하여 제시하였다. 8월의 전기요금이 최고값과 평균값에서 가장 높은 것으로 관찰된다. 그리고 3월-5월과 9월-10월에서의 전기요금이 그 외 다른 달의 전기요금에 비하여 평균값 및 최대값이 더 낮게 나타남을 관찰할 수 있다. 이는 3월-5월과 9월-10월에는 동하계 전기요금 단가보다 상대적으로 저렴한 춘추계의 전기요금 단가가 적용된 결과라고 볼 수 있다.

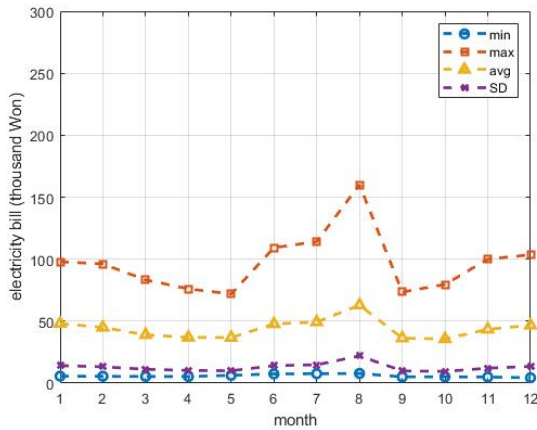


그림 7. 계시별 요금제 적용 시 월별 가구 전기요금 특성 곡선

Fig. 7. Characteristic curves of monthly electricity bill for each household with the TOU rate.

다음 그림 8에는 요금을 25,000원 구간으로 나눈 히스토그램을 보였다. 히스토그램에서 가구 수는 월별로 구분하여 집계하였으며, 각 월은 히스토그램에서 색으로 구별하여 표시하였다. 그림의 결과로부터 25,000원~50,000원 사이의 가구가 8월을 제외하면 가장 많음을 알 수 있다. 그리고 8월에는 50,000원~75,000원 사이 요금 구간의 가구가 가장 많은데, 이는 누진제의 결과와는 다른 점이다. 그리고 8월을 제외한 나머지 달에서 두 번째로 가구 수가 많은 구간은 50,000원~75,000원 사이이다. 이러한 결과는 역시 누진 요금제와는 다른 점이다. 이상으로부터 계시별 요금제에서는 대부분의 가구가 월 전기요금으로 25,000원~75,000원 사이를 납부하게 된다는 것을 알 수 있다. 실제 이 구간 전기요금을 납부하는 가구의 비율은 전체 전기요금의 90.3%이다.

한편, 그림 7에서 전기요금의 최대값은 누진 요금제에 비하여 크게 낮아진 것을 알 수 있다. 8월의 전기요금은 다른 월과 비교하였을 때 상대적으로 높게 보이나 누진 요금제를 적용한 전기요금에 비하여 크게 낮아졌다. 다른 달에서도 정도의 차이는 있지만, 골고루 누진 요금제에 비하여 낮아짐을 관찰할 수 있다. 반면 각 가구 전기요금의 평균값은 누진 요금제와 비교하여 큰 차이가 없다. 누진 요금제와 계시별 요금제에서 각 가구별 전기요금의 비교 및 분석은 다음 장에서 자세하게 기술한다.

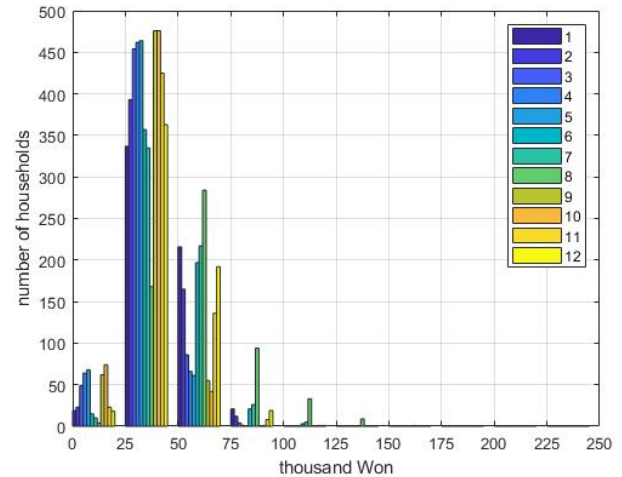


그림 8. 계시별 요금제 적용 시 전기요금에 대한 가구 히스토그램

Fig. 8. Household histogram of electricity bill with the TOU rate.

III. 누진 요금제와 계시별 요금제의 비교 분석

1. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경 시 전기요금의 변화

각 가구에 대하여 기존의 누진 요금제로 계산한 전기요금과, 계시별 요금제로 계산한 전기요금의 결과를 비교 분석한다. 먼저 각 가구의 전기사용량을 계시별 요금제로 계산한 전기요금과 누진 요금제로 계산한 전기요금과의 차이를 구하였다. 그림 9에 계시별 요금제에서 누진 요금제의 전기요금을 뺀 결과를 월별로 정리하여 보였다. 가로축은 월을 나타내고 세로축은 요금제 간의 전기요금 차이이다. 양수 값은 누진 요금제에서 계시별 요금제로 변경하였을 때 전기요금의 증가를 나타내며, 음수 값은 전기요금의 감소를 나타낸다. 그림의 결과에서 전기요금이 감소하는 가구도 있지만 증가하는 가구도 있음을 알 수 있다. 전기요금의 증가와 감소는 가구의 전기사용량과 사용패턴에 따라 다양하게 나타난다.

전기요금이 증가한 경우에는 증가값이 24,600원을 넘지 않으나 감소하는 경우에는 약 75,600원까지 감소하여 격차가 상당히 크다. 전기요금이 증가한 가구는 12개월 전반에 걸쳐 나타나는데, 그 증가폭은 1월~2월, 6월~8월, 11월~12월 등 계시별 요금제의 동하계요금 적용기간에 조금 더 큼을 관찰할 수 있다. 반면 감소의 경우에는 동하계와 춘추계 구분 없이 다양한 형태로 나타나지만, 특히 8월에 감소폭이 가장 크고, 1월, 12월, 7월에 감소폭이 상대적으로 작다는 것이 관찰된다.

전기요금제에 따른 전기요금 차이의 최대값, 최소값,

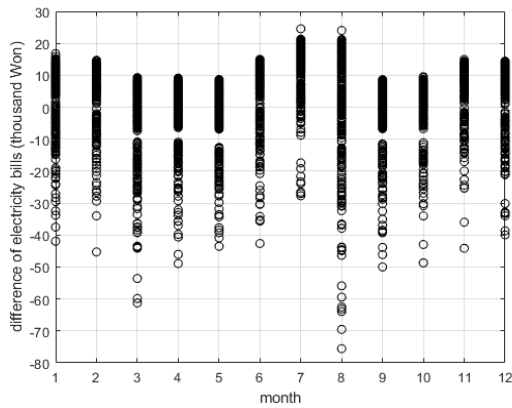


그림 9. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 가구별 전기요금 차이 분포도

Fig. 9. Scatter diagram of differences in electricity bills of each household when changing the progressive rate to TOU rate.

평균값, 그리고 표준편차를 그림 10에 보였다. 최대값은 7월의 24,548원이며 최소값은 8월의 -75,540원이다. 전기요금제 변경에 따른 전기요금 차이의 평균값에서 계시별 요금제의 동계에 해당하는 1월-2월, 11월-12월에는 전기요금의 증가가 있으며 하계에 해당하는 6월-8월에도 평균 전기요금의 증가가 관찰된다. 계시별 요금제의 춘추계 구간인 3월-5월, 9월-10월에는 전기요금 차이의 평균값이 -1,888원에서 1,301원 사이로 크지 않다. 음의 값은 3월과 5월에 각각 -1,888원과 -300원으로 관찰된다. 표준편차의 경우에는 8월을 제외하면 모든 월에서 비슷한 값을 가진다. 이는 8월에는 가구별 전기요금의 차이가 상대적으로 크고 나머지 월에서는 비슷하다는 것을 의미한다.

다음 그림 11에는 요금 차이를 10,000원 간격으로 나눈 히스토그램을 보였다. 히스토그램에서 가구 수는 월별로 구분하여 집계하였으며, 각 월은 히스토그램에서 색으로 구별하여 표시하였다. 그림의 결과로부터 6월-8월을 제외하면 0-10,000원 사이에 가장 많은 가구가 분포함을 알 수 있다. 그리고 6월-8월에는 10,000원-20,000원 구간에 가장 많은 가구가 분포한다. AMI 계량 데이터를 수집한 12개월간 593가구의 전기요금 과금 횟수는 총 7,116회인데, 이 가운데서 5,476회에서 전기요금의 증가가 있었으며 이는 전체의 77.4%에 해당한다.

다음, 각 가구의 전기요금제 변화에 따른 전기요금의 증감과 월 전기사용량 간의 관계를 분석하기 위하여 월 전기사용량에 따른 전기요금의 변화를 그림 12와 13에 보였다. 그림 12에는 계시별 요금제의 춘추계에 해당하는 3월-5월, 9월-10월의 결과를 제시하였고, 동하계에

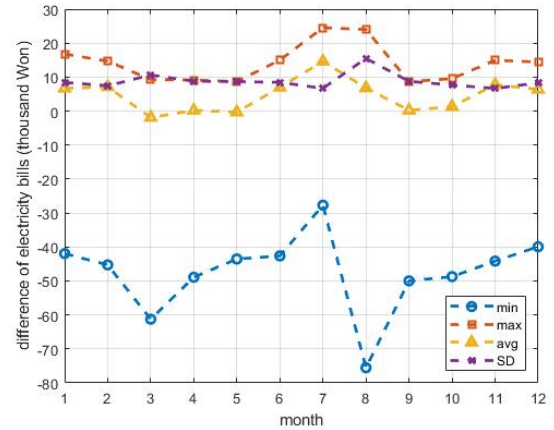


그림 10. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 요금 차이의 특성 곡선

Fig. 10. Characteristic curves of differences in electricity bills of each household when changing the progressive rate to TOU rate.

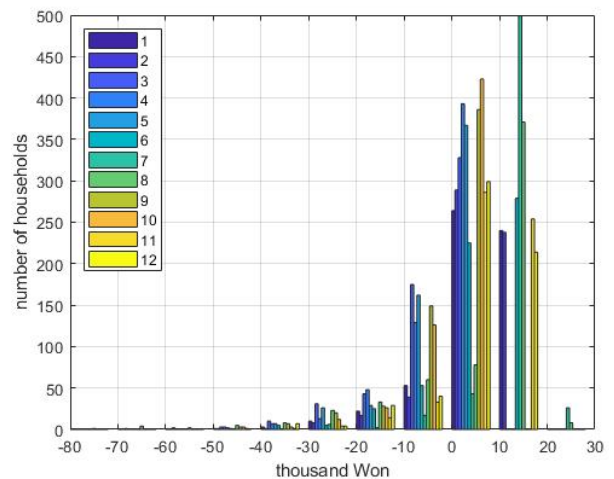


그림 11. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 요금 차이에 대한 가구 히스토그램

Fig. 11. Household histogram of differences in electricity bills when changing the progressive rate to TOU rate.

해당하는 1월-2월, 6월-8월, 11월-12월의 결과는 그림 13에 제시하였다.

그림 12로부터 월 전기사용량이 적은 경우에는 전기요금의 증가가 발생하고, 전기사용량이 어느 값 이상이 되면 전기요금 감소가 나타남을 알 수 있다. 전기요금의 증가와 감소의 경계가 되는 전기사용량은 대략 311kWh 내외이다. 여기에서 각각의 점들이 하나의 직선 위에 표현되지 않고 직선 주변으로 분산되어 나타나는 것은 각 가구의 전기사용량이 동일하더라도 수요시간과 기타시간의 비율이 다를 경우 계시별 요금제에서는 다른 전기요금으로 계산되기 때문이다.

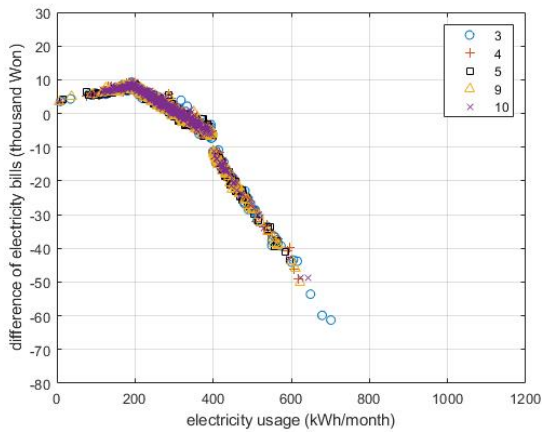


그림 12. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 전기사용량에 따른 전기요금 차이 (춘추계)

Fig. 12. Difference of electricity bills according to electricity usage when changing the progressive rate to TOU rate (spring/fall season).

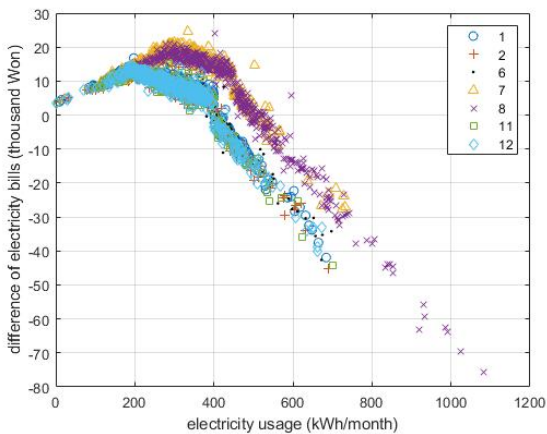


그림 13. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 전기사용량에 따른 요금 차이 (동하계)

Fig. 13. Difference of electricity bills according to electricity usage when changing the progressive rate to TOU rate (summer/winter season).

200kWh까지는 전기사용량에 따라 전기요금의 차이가 점점 증가하다가 200kWh를 넘어서면 감소한다. 그리고 약 311kWh가 되면 요금제에 의한 전기요금의 차이는 없게 된다. 311kWh 이상 전기사용량이 증가하면 요금제에 의한 전기요금 간의 차이는 더욱 커진다. 즉, 계시별 요금제를 적용한 경우 누진 요금제에 비해서 전기요금이 더 절감됨을 알 수 있다.

다음 그림 13의 동하계 경우에서도 전기요금 차이의 분포곡선은 춘추계의 경우와 유사하나, 분포곡선이 두 갈래로 나뉘는 차이가 있다. 이는 누진 요금제에서 하계(7월, 8월)에 누진 2단계와 3단계의 경계값이 300kWh와 450kWh로 각각 증가하여 동일 전기사용량

이라도 7월-8월에는 누진 요금제의 전기요금이 감소하기 때문이다. 분포곡선에서 위쪽에 나타난 것이 하계인 7월-8월의 전기요금 차이 값들이다. 이 기간에는 계시별 요금제에서는 동하계 요금을 적용하여 전기요금 단가가 더 증가하는 반면, 누진 요금제에서는 누진 2단계 전력사용량 구간의 확장으로 인한 전기요금 감소가 있으므로 요금제 간 전기요금 차이가 다른 기간들에 비하여 더 크게 나타난다.

동하계 중 7월-8월을 제외한 달에는 약 200kWh까지 전기사용량에 따라 전기요금의 차이가 커진다. 그리고 약 200kWh 이후에는 그 차이가 감소하며 약 400kWh에는 전기요금제 간의 차이는 없다. 400kWh 이후에는 전기사용량이 많아질수록 계시별 요금제를 선택한 경우의 전기요금이 더 많이 절감된다. 7월-8월에는 약 300kWh까지는 전기사용량이 증가함에 따라 전기요금제 간 요금의 차이도 증가한다. 그러나 300kWh 이후에는 요금 차이가 감소하며 약 495kWh에는 전기요금제 간의 요금 차이가 없어진다. 495kWh 이후에는 전기사용량이 많아질수록 계시별 요금제를 선택한 경우의 전기요금이 더 많이 절감된다.

한편 7월-8월을 제외한 나머지 달에서는 400kWh, 그리고 7월-8월에는 450kWh 지점에서 분포곡선이 불연속적으로 변화하는 모습이 관찰되는데, 이는 누진 요금제의 누진 2단계에서 3단계로 변화하는 지점에서 기본요금의 급격한 변화에 기인한다.

한편 춘추계와 비교하여 동하계에서는 전기요금 차이가 분포곡선이 많이 분산되어 나타남을 관찰할 수 있다. 이는 춘추계에서 사용되는 전력부하패턴이 가구별로 유사한 반면 동하계에서의 전력부하패턴은 가구별로 편차가 크다는 것을 의미한다.

2. 전기소비자의 요금제 선택 제안

가구의 시간대별 전기사용량에서 수요시간의 전기사용량이 차지하는 비율은 가구 및 월에 따라 다른 것으로 관찰된다. 수집된 AMI 데이터로부터 수요시간 사용비율의 최대값, 최소값, 평균값, 그리고 표준편차를 구하여 그림 14에 보였다. 그림 14에서 수요시간 사용비율의 평균값은 월별로 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 그리고 월별 표준편차값도 거의 변화가 없다. 전체 가구의 연간 AMI 데이터를 이용한 평균 수요시간 전기사용량의 비율은 41.3%로 계산되었다. 이 비율값을 적용하여 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우, 월 전기사용량에 따른 전기요금의 변화를 표 6에 정리하여 보였다.

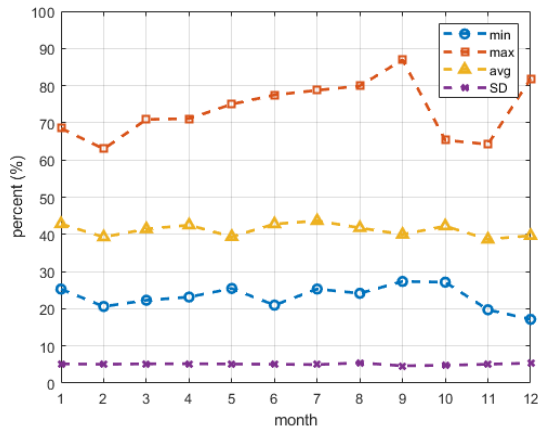


그림 14. 월별 전체 가구 수요시간 비율

Fig. 14. Monthly demand hour ratio of total households.

표 6. 월 전기사용량에 따른 전기요금의 변화

Table 6. Changes in electricity bills according to monthly electricity usage.

월 전기사용량	요금제 변경시 전기요금 변화
311kWh 이하	증가
312kWh~400kWh	춘추계 증가
	동하계 감소
401kWh~495kWh	춘추계 감소
	동계 및 6월 감소
	7월~8월 증가
496kWh 이상	감소

이상의 결과로부터 전기소비자 관점에서 어떤 전기요금제가 더 유리한가는 월간 전기사용량, 해당되는 월, 그리고 수요시간 비율 등에 따라 달라진다는 것을 알 수 있다. 그러나 국내 전력계통운영의 특성상 전기요금제의 선택은 통신요금과는 달리 연중 수시로 전기요금제를 변경하기는 어렵다. 전기소비자는 전기요금제 변경에 따라 요금이 증가하는 달도 있을 수 있고 요금이 감소하는 달도 있을 수 있다. 그러므로 전기소비자는 월 전기요금을 합산한 연간 전기요금을 계산하고 이를 바탕으로 자신에게 유리한 요금제를 결정하는 것이 타당하다. 전기사용량에 대한 AMI 데이터가 없는 경우에는 계시별 요금제가 적용되었을 때 전기요금값을 알 수 없으므로 전기요금제 변경에 따른 유불리를 판단하기 어렵다. 따라서 전기소비자는 자신의 월 전기요금과 월 전기사용량만을 이용하여 어느 요금제가 자신에게 더 유리한가를 판별하는 방법이 필요하다.

이를 위하여 먼저 AMI 데이터를 이용하여 각 가구의 전기요금제를 누진 요금제에서 계시별 요금제로 변

경하였을 때 매월 발생하는 요금차이를 연간 합산하여 그 결과를 구하였다. 구한 결과가 양수이면 계시별 요금제로 변경하였을 때 연간 납부하는 전기요금이 더 증가한다는 의미이고, 음수이면 연간 전기요금의 감소를 의미한다. 그림 15에서 전기요금제를 변경한 경우 각 가구별 연간 전기요금의 변화를 보였다. 가로축은 가구의 번호이고 세로축은 전기요금제에 따라 계산되는 연간 전기요금의 총액의 차이이다. 차이가 0보다 큰 값을 가지는 가구는 전기요금의 증가가 있으므로 계시별 요금제로 변경하지 않는 것이 유리하고, 0보다 작은 값을 가지는 가구는 전기요금의 감소가 있으므로 계시별 요금제로 변경하는 것이 유리하다.

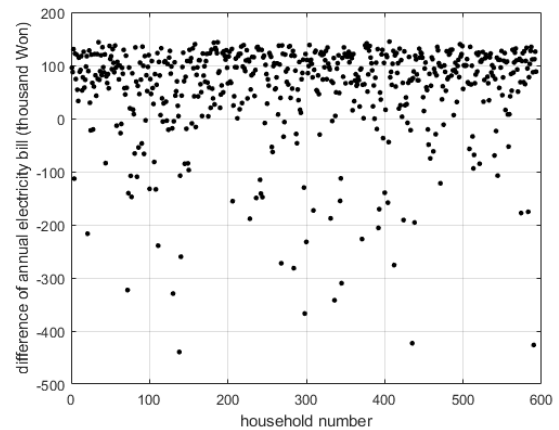


그림 15. 누진 요금제를 계시별 요금제로 변경한 경우 각 가구의 요금 변화

Fig. 15. Changes in the electricity bills of each household when changing the progressive rate to TOU rate.

그러나 앞에서 기술하였듯이, 대부분의 전기소비자는 월 전기사용량 및 월 전기요금값 정보만을 가지고 있으므로 전기요금제 변경에 따른 전기요금 차액을 계산할 수 없다.

이제 월 전기사용량과 월 전기요금만을 이용하여 전기요금제에 따른 전기요금의 증감을 추정하는 방법에 대하여 기술한다. 먼저 각 가구의 월 전기사용량과 월 전기요금을 각각 합산하여 연간 전기사용량과 연간 전기요금을 구하였다. 그리고 이 가구가 전기요금제를 변경한 경우 전기요금이 증가하는 가구인지, 전기요금이 감소하는 가구인지를 구분하여 분류하였다. 분류된 결과는 가구의 연간 전기사용량과 연간 전기요금 축에 따라 그림 16에 제시하였다. 그림에서 가로축은 가구의 연간 전기사용량이고 세로축은 가구의 연간 전기요금 총액이다. 그리고 전기요금의 증가가 있는 가구는 삼각

형으로, 전기요금의 감소가 있는 가구는 원으로 표시하였다.

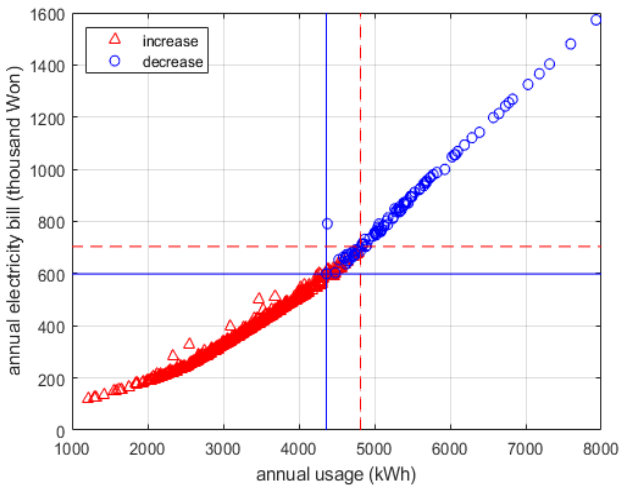


그림 16. 연간 전기사용량/연간 전기요금과 요금제 변경 후 전기요금 관계

Fig. 16. Relationship between annual electricity usage/the electricity bills and the electricity bill after changing the electricity rate.

그림의 결과로부터 연간 전기사용량이 적거나 연간 전기요금이 적은 가구들은 요금제 변경으로 인하여 전기요금이 증가하고, 반대로 연간 전기사용량이 많거나 연간 전기요금이 많은 가구들은 요금제 변경으로 인하여 전기요금이 감소함을 알 수 있다. 따라서 연간 전기사용량이 적거나 연간 전기요금이 적은 가구들은 누진 요금제를 그대로 사용하고, 연간 전기사용량이 많거나 연간 전기요금이 많은 가구들은 계시별 요금제로 변경하는 것이 유리하다.

이제 이와 같은 관찰을 바탕으로 좀 더 자세하게 이들의 관계를 분석하여 전기수요자에 유리한 요금제 선택 기준을 제안한다. 그림에서 점선의 수직선과 점선의 수평선은 삼각형으로 표현된 가구 중에서 최대 연간 전기 사용량과 최대 연간 전기요금을 각각 표시하는 경계선이다. 삼각형들은 모두 점선의 좌측과 아래쪽에 위치한다. 그러므로 점선의 수직선 우측 또는 점선의 수평선 위쪽에 위치하는 것은 모두 원들로 이들은 모두 전기요금이 감소하는 가구들이다.

한편 실선의 수직선과 실선의 수평선은 원으로 표현된 가구들 중에서 최소 연간 전기사용량과 최소 연간 전기요금을 각각 표시한 경계선이다. 원들은 모두 실선의 직선 우측과 위쪽에 위치한다. 그러므로 실선의 수직선 좌측 또는 실선의 수평선 아래쪽에 위치하는 것은

모두 삼각형들로 이들은 모두 전기요금이 증가하는 가구들이다.

그림 16의 좌측 하단에 있는 실선의 수직선 및 실선의 수평선으로 구획이 지어지는 영역에서는 모두 요금의 증가가 발생한 가구들이다. 이들의 경계값은 연간 전기사용량으로 4,363kWh, 연간 전기요금으로 599,000원이다. 반면 우측 상단 점선의 수직선 및 점선의 수평선으로 구획이 지어지는 영역에서는 모두 요금의 감소가 발생한 가구들이다. 이들 경계값은 연간 전기사용량으로 4,814kWh, 연간 전기요금으로 704,000원이다.

연간 전기요금 기준을 나타내는 수평선이나 전기사용량 기준을 나타내는 수직선이나 둘 다 전기요금제 선택의 기준으로 삼을 수 있다. 그러나 그림의 결과에서 보면 연간 전기요금을 선택 기준으로 사용하는 것이 좀 더 낫다고 판단된다. 그 이유는 연간 전기사용량으로 구분하는 경우에는 점선의 수직선 좌측에 있는 (4363, 800)의 좌표 부근의 원으로 표현된 가구를 전기요금 감소 가구로 구분하지 못하는 반면, 연간 전기요금으로 구분하는 경우에는 이 원이 점선의 수평선 위쪽에 위치하므로 전기요금 감소 가구로 구분할 수 있기 때문이다. 본 논문의 제안 결과에는 참고로 두 기준 모두를 제시한다.

한편, 실선과 점선의 수직선과 수평선 사이에 형성된 가운데 사각형의 영역에서는 삼각형으로 표현된 가구와 원으로 표현된 가구가 섞여서 분포한다. 즉, 이 영역에서는 연간 전기사용량이나 전기요금이 비슷하더라도 월에 따른 전기사용 분포나 수요시간 비율에 따라 요금제의 변경으로 요금의 증가가 발생할 수도 있고 감소가 발생할 수도 있다. 즉, 증가나 감소의 어느 쪽이라고 판정하기 어려운 영역으로 이 영역을 회색 영역이라 정한다. 회색 영역은 좁은 것이 바람직하다. 그림의 결과에서 볼 수 있듯이, 실험 데이터에서 얻은 회색 영역의 범위가 넓지는 않다. 또한 이 영역에서는 유리한 요금제를 적용한 경우의 요금과 그렇지 않은 요금제를 적용한 경우 두 요금의 차가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

실제로 이 회색 영역에 있는 요금증가 가구는 28개인데, 이들의 평균 요금증가는 연간 19,832원 정도로 크지 않다. 즉, 요금제를 잘 못 변경하더라도 변동되는 요금 차이는 크지 않다. 참고로 회색 영역 밖의 누진 요금제가 유리하다고 판단된 가구는 468개이고 이들의 평균 요금증가는 연간 93,696원으로 계산된다. 즉, 회색 영역 밖에서는 요금 선택이 잘못되는 경우 연간 93,696원을 평균적으로 더 부담하게 되어 그 차이가 크다.

한편, 회색 영역의 요금 감소 가구는 20개이며, 이들의 요금 감소는 평균 연간 13,563원이다. 참고로 회색 영역 밖의 계시별 요금제가 유리하다고 판단된 가구는 77개이고 이들의 평균 요금 감소는 연간 142,773원으로 상당히 큰 값이다. 즉, 회색 영역 밖의 가구들의 요금 선택이 잘못되는 경우 평균적으로 연간 142,773원의 많은 요금을 더 부담하게 된다. 이상 전기수요자 입장에서 분석한 요금제의 권고 결과를 정리하여 표 7에 제시하였다.

표 7. 주택용 전기요금제 선택 기준

Table 7. Criteria for choosing a residential electricity rate.

연간 전기요금 기준	연간 전기사용량 기준	권고 요금제/영역
599,000원 이하	4,363kWh 이하	누진 요금제
704,000원 초과	4,814kWh 초과	계시별 요금제
599,000원 초과 - 704,000원 이하	4,363kWh 초과 - 4,814kWh 이하	회색 영역

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 누진 요금제와 계시별 요금제의 특성을 비교 분석하였다. 이를 위하여 실제 누진 요금제에서 검침된 AMI 데이터를 사용하였다. 기존 누진 요금제에서 검침된 데이터를 그대로 사용하여 계시별 요금제로 전기요금을 다시 계산하면 총 과금 횟수의 77.4%의 경우 요금이 증가하게 되지만, 전체 가구의 연간 전기요금 증가분은 거의 없다. 다만, 기존 누진 요금제에서 전기 사용량이 많은 세대들은 전기 요금이 크게 감소한다. 국내에 계시별 요금제가 본격적으로 보급되기 시작하면, 세대별로 계시별 요금제로 변경에 따른 유불리를 판단을 해야 한다. 세대의 AMI 데이터를 사용하면 유불리를 판단하는 것이 가능하겠으나, 현실적으로 연간 시간대별 AMI 데이터를 활용하는 것은 쉽지가 않다. 따라서 세대에서 확인하기 쉬운 연간 전력사용량 또는 연간 전기요금 정보만을 활용해서 요금제 변경에 따른 유불리를 판단할 수 있다는 점에서 본 논문의 연구 의미가 있으며, 또한 계시별 요금제의 본격 도입을 앞두고 전기소비자에게 적합한 전기요금제를 선택하기 위한 정보제공 측면에서도 그 의미가 있다.

이러한 분석을 통하여 연간 전기요금과 전기 사용량에 따라 계시별 요금제로 전환 시에 전기요금 측면에서 유리함과 불리함을 예측해보았다. 연간 전기요금을 기

준으로 하였을 때 704,000원을 초과하는 경우 계시별 요금제 선택이 유리하며, 599,000원-704,000원의 경우는 두 요금제 간의 차이가 거의 없다. 차후로 각 세대의 전기사용 패턴과 요금을 관찰하여 보다 효율적이고 정확하게 계시별 요금제를 선택할 때의 유리함을 판단하는 연구가 진행될 필요가 있다. 또한 계시별 요금제로 전환하는 경우 전력 사용 패턴의 변화에 대하여도 연구할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] <https://cyber.kepco.co.kr>
- [2] W. Jung, B. J. Chung, and D. S. Kim, "Analysis of the single and general contracts in electricity supply for high-voltage apartments," *Jour. IEIE*, vol. 57, no. 10, pp. 87-95, Oct. 2020.
- [3] D. S. Kim, W. Jung, and B. J. Chung, "Analysis of the electricity supply contracts for medium-voltage apartments in the republic of Korea," *Energies*, vol. 14, no. 2, 293, 2021.
- [4] A. Ahn, T. Choi, and E. Kang, "Proper electricity contract for efficient management of apartment," *Jour. Korea Real Estate Soc.*, vol. 56, no. 2, pp. 159 - 176. 2020.
- [5] B. J. Chung, "Consumer awareness survey for improving electricity charge system in apartment housing " in *Proc. IEIE Summer Conference*, pp. 1374-1375, Jeju, Korea, Aug. 2020.
- [6] B. J. Chung and M. K. Sim, "A study on the improvement of electricity rate system in apartment house", in *Proc. IEIE Autumn Conference*, pp. 478-481, Gwangju, Korea, Nov. 2020.
- [7] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Confirmation of rational electricity rate system reform plan including electricity market and cost-linked rate system," press release, Dec. 17, 2020.
- [8] Korea Electric Power Corporation, *KEPCO Electric Power Statistics Breaking News*, 2020.
- [9] D. S. Kim, B. J. Chung, and Y. M. Chung, "Statistical learning for service quality estimation in broadband PLC AMI," *Energies*, vol. 12, no. 4, 684, 2019.
- [10] D. S. Kim, B. J. Chung, and Y. M. Chung, "Analysis of AMI communication methods in various field environments," *Energies*, vol. 13, no. 19, 5185, 2020.
- [11] N. Yoo, E. Lee, B. J. Chung, and D. S. Kim, "Analysis of apartment power consumption and

forecast of power consumption based on deep learning,” *Jour. IEEE*, vol. 23, no. 4, pp. 1373-1380, Dec. 2019.

- [12] M. J. Kim, “A study of restructured residential electricity pricing toward the competitive power market,” *Trans. Korean Inst. Electr. Eng.*, vol. 63, no. 7, pp. 889 - 895, 2014.

- [13] S. H. Yoo, J. S. Lee, and S. J. Kwak,

“Estimation of residential electricity demand function in Seoul by correction for sample selection bias,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, pp. 5702 - 5707, Nov. 2007.

- [14] M. J. Kim, “Determining the relationship between residential electricity consumption and factors: case of Seoul,” *Sustainability*, vol. 12, no. 20, 8590, 2020.

저 자 소 개



정 재 웅(학생회원)
~현재 전북대학교 컴퓨터공학부
학사 재학 중.

<주관심분야: 데이터처리, 데이터통계분석, 스마트미터링, 딥러닝, 머신러닝>



김 동 식(정회원)
1986년 서울대학교 제어계측공학과
학사 졸업.
1988년 서울대학교 제어계측공학과
석사 졸업.
1994년 서울대학교 제어계측공학과
박사 졸업.

2000년~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수
<주관심분야: 신호처리, 의료영상시스템, 의료영상처리, 무선센서네트워크, 스마트미터링>



정 범 진(정회원)
1986년 서울대학교 제어계측공학과
학사 졸업.
1988년 서울대학교 제어계측공학과
석사 졸업.
2014년 한국외국어대학교 전자공학
박사 졸업.

현재 서울과학기술대 전기정보기술연구소 연구교수
<주관심분야: 스마트미터링, 스마트그리드, AMI
네트워크, 전기차충전, 전력정책>



정 영 모(정회원)
1986년 서울대학교 제어계측공학과
학사 졸업.
1988년 서울대학교 제어계측공학과
석사 졸업.
1993년 서울대학교 제어계측공학과
박사 졸업.

1995년~현재 한성대학교 전자정보공학과 교수
<주관심분야: 디지털통신시스템, 신호처리, 전력
선통신, 스마트미터링>