

2024 인재양성 프로그램  
연구자 최종 결과보고서

# 주택용 계시별 요금제의 수요 반응 효과성, 지속성 및 이질성 분석: 제주 사례를 중심으로

Transitioning to Time-of-Use Pricing: Behavioral Insights  
from Jeju Island Residential Electricity Customers

2025. 01. 31

정민성



재단법인 숲과나눔  
Korea SHE Foundation

# 제 출 문

재단법인 숲과나눔 이사장 귀하

본 보고서를 “주택용 계시별 요금제의 수요 반응 효과성, 지속성 및 이질성 분석: 제주 사례를 중심으로”의 최종 연구 결과보고서로 제출합니다.

2025년 1월 31일

연구 원 : 정민성(특정주제연구자)

※ 본 보고서의 내용은 연구자의 의견이며, (재)숲과나눔의 공식적인 견해와는 다를 수 있습니다.

## 결과보고서 초록

연구원	정민성	구분	특정주제연구자
연구제목	한글	주택용 계시별 요금제의 수요 반응 효과성, 지속성 및 이질성 분석 : 제주 사례를 중심으로	
	영문	Transitioning to Time-of-Use Pricing: Behavioral Insights from Jeju Island Residential Electricity Customers	
연구기간	2022.3.1 ~ 2022.12.31		
색인어	한글	계시별 요금제, 수요 반응, 에너지 전환, 기후위기 대응	
	영문	Time-Of-Use, Demand Response, Energy Transition, Climate Response	

### [국문]

계시별 요금제는(Time-of-Use pricing, TOU) 소비자의 수요 반응을 촉진하여 전기 요금을 절감하고, 공급자의 이윤을 증가시키는 것을 목표로 한다. 또한, 계시별 요금제는 재생에너지의 변동성을 완화하여 재생에너지 보급을 가속하고 기후위기에 대응하는 가격 전략으로 더욱 주목받고 있다.

본 연구는 기존의 누진 요금제(Inclining Block Pricing, IBP)에서 자발적인 선택으로 계시별 요금제를 도입한 가구들의 전력 소비 행태를 분석한다. 계시별 요금제 도입 전후의 대규모 미시 데이터를 활용하여, 2020년 1월부터 2022년 12월까지의 가구별 시간 단위 전력 소비 데이터를 분석한다. 분석 방법으로는 Hausman et al. (1979)의 접근법을 따르며, 수요 변화의 원인을 두 단계로 설명한다. 첫 번째 단계에서는 기준 기간(base period) 대비 각 기간의 소비 변화를 분석하여, TOU 요금제가 하루 중 시간대별 소비에 미치는 영향을 평가한다. 두 번째 단계에서는 한계 가격(marginal price) 변화가 하루 전체 소비에 미치는 영향을 분석하며, 이때 첫 번째 단계에서 예측된 소비를 반영한 한계 가격을 사용한다. 또한, IBP 체계에서는 소비 증가에 따라 한계 가격이 계단식으로 상승하는 내생성(endogeneity) 문제가 존재하므로, 이를 해결하기 위해 월별 사용 구간의 단위 가격과 해당 구간에 속하는 소득을 도구변수(Instrumental Variable, IV)로 활용한다.

분석 결과, IBP 체계의 소비 억제 효과는 TOU로 전환됨에 따라 약화되었으며, 전체 전력 소비가 9.7% 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 차등화된 단위 요금의 도입은 수요 변화를 유도하였으며, 피크 및 중간 피크 시간대의 소비량 중 2.3%에서 4.3%가 경부하 시간대로 이동하였다. 이러한 결과는 TOU 도입 시 하루 내 가격 차이에 따른 가격 효과와 일 단위 한계 가격 변화가 소비에 미치는 영향이 상당히 크다는 점을 시사한다. 또한, 태양광 패널을 설치한 가구는 그렇지 않은 가구에 비해 가격 반응성이 낮은 것으로 나타났다.

### [English]

The Time-of-Use pricing (TOU) program aims to realize bill savings and increase supplier profits by promoting the demand response among electricity customers. It is also increasingly recognized as a key price-based measure that helps accelerate the deployment of renewables by reducing the system variability they introduce.

This study examines electricity consumption behavior among households previously subject to an Inclining Block Pricing (IBP) scheme but now have adopted TOU pricing under an opt-in system. We analyze large-scale granular data before and after the TOU adoption, specifically households' hourly electricity consumption data from January 2020 through December 2022. Our analysis follows the approach of Hausman et al. (1979) to explain changes in demand

behavior in two stages. In the first stage, we examine the within-day effect of TOU pricing on consumption of each period relative to the base period. In the second stage, we investigate the daily effect of marginal price changes. The estimated marginal price incorporates consumption predicted in the first stage. To address the endogeneity issue under IBP, where marginal prices increase stepwise with consumption, we use the unit price of the monthly usage tier and the corresponding tier's income as instrumental variables (IV). The consumption-reducing effect of the IBP scheme diminishes with the transition to TOU, resulting in an overall increase in electricity consumption by 9.7%. Meanwhile, the introduction of differentiated unit prices causes demand shifts, with 2.3% up to 4.3% of demand moving from peak and mid-peak periods to off-peak periods. These results underscore the significant influence of both the price effect of price differentiation within a day and of altered daily marginal price when adopting TOU. In addition, households who adopted solar panel systems were less price-responsive than those without solar panels.

# 요약문

## I. 제 목

주택용 계시별 요금제의 수요 반응 효과성, 지속성 및 이질성 분석: 제주 사례를 중심으로

## II. 연구의 목적 및 필요성

- 연구의 목적

수요관리 전략 중 하나인 계시별 요금제에 대한 이해를 증진함으로써 기존 전력시스템에 재생에너지를 결합하는 과정에서 발생하는 변동성 문제 해결에 기여하고, 이를 통해 재생에너지 기반 전력시스템으로의 전환을 촉진, 나아가 기후위기에 대응하는 것을 연구의 목적으로 한다.

- 연구의 필요성

계시별 요금제는 소비자에게 가격신호를 제공하여 최대 부하를 저감하고, 수요를 평탄화하므로 에너지 전환의 핵심 요소인 재생에너지를 전력시스템에 통합하는데 주요한 역할을 수행할 것으로 기대되고 있으나, 요금제 시행 시 가정용 소비자의 경우 고부하 시간대의 낮은 수요 저감 수준(Faruqui et al., 2014), 특정 특성을 가진 소비자에게 더 큰 혜택이 돌아가는 현상(Borenstein, 2012) 등의 우려지점이 있다. 또한, 요금제 적용 시 소비자의 (고부하/저부하)시간대별 상세 행태 변화 및 지속성, 특정 소비자 특성에 대한 제한적 효과 등에 대해서는 다양한 쟁점이 존재한다. 본 연구를 통해 가정용 TOU 요금제 적용 시 나타나는 소비자 행태를 이해함으로써, 효과적인 TOU 요금제 운영에 기여할 수 있다.

## III. 연구의 내용 및 범위

- 연구 데이터

- ▷ 제주 주택용 계시별 요금제 도입 이후 시간대별 가구의 전력 사용량 데이터를 활용

함. 제주 주택용 계시별 요금제를 선택한 전체 가구(2022년 12월 기준 총 1,392 가구)를 처치군으로 하고, 기존 요금제를 계속 사용하고 있는 가구 일부(10,000가구)를 대조군으로 선택함.

- ▷ 2020년 1월부터 2022년 12월까지 시간대별 사용량 데이터를 연구분석에 활용하여 각 가구별 계시별 요금제 도입(최초 시행일: 2021년 9월 21일) 전/후의 사용량 비교가 가능함. 이는 Difference-in-Difference 분석 수행에 적합한 데이터 특성으로, 요금제 도입 전후(시계열 차이) 및 선택-비선택가구 간 차이(처치 여부 차이) 관찰 가능
  - ▷ 단, 처치가 일률적으로 이루어지지 않음. 주택용 계시별 요금제는 일괄 적용이 아니라 선택한 가구에 한하여 적용되며, 소비자가 원하는 때에 선택 가능함. 계시별 요금제를 선택한 사용자의 가입 추이 참고(그림 6.) 본 연구에서는 2021년 9월 가입한 사용자들만 분석의 대상으로 하여, 가입 시점을 일일화하여 이중차분법을 수행함.
  - ▷ Unbalanced data를(대조군과 처치군이 확보한 데이터가 시계열별로 100% 일치하지 않음) 활용하였으며, 기존 요금제를 계속해서 사용하는 대조군 데이터의 경우, 월별사용량에 대하여 요금이 결정되므로, 한전으로 하여금 AMI(시간대별 사용량 측정) 관리 유인이 상대적으로 떨어져 데이터상 결측치가 다수 존재함.
  - ▷ Coarsened Exact Matching(처치군과 같은 특성을 가진 대조군을 선별하여 분석에 활용) 수행함. 한국전력에서 주택용 계시별 요금제 시행 초기 전기요금 절감 시뮬레이션 페이지를 제공하는 등 계시별 요금제를 선택한 처치군과 기존 요금제를 계속해서 사용하는 대조군 간 특성 차이가(selection bias) 존재할 수 있으며, 같은 특성을 가진 표본을 선별하기 위해 Coarsened Exact Matching 수행이 필요함. 시간대별 전력사용 행태에 영향을 미치는 요인(월평균 전력 사용량, 저부하 대비 중부하/고부하 시간대 사용량 비중, 5인 이상 대가족 여부, 태양광 패널 설치 여부 등)을 선정하여 매칭을 수행하며, 요인 선정 시 이전 사용량 뿐만 아니라 가구 특성을 매칭하는 것이 중요함(Alberini and Towe, 2015).
- 연구 방법론: 이중차분법 및 Hausmann et al.(1979) 수요 모형
    - ▷ 이중차분법: 계시별요금제 적용 시 하루 중 사용량 변화 관찰 모델 및 계시별 요금제 적용 시 중부하, 고부하 구간의 사용 비중 변화의 지속성 파악을 위한 모델 수립

- ▷ 수요모형 1단계(Hausmann et al., 1979): 계시별 요금제 수행 시 하루 중 사용량 변화에 미치는 가격 효과 파악을 위한 패널회귀 분석 수행
- ▷ 수요모형 2단계(Hausmann et al., 1979): 계시별 요금제 수행 시 부하 구간별로 사용량 변화 및 사용 비중 변화의 방향이 반대일 경우, 계시별 요금제의 가격효과를 하루 중 수요 이전 효과 파악 후 이를 활용하여 일별 가격효과 파악

#### IV. 연구 결과

- 회귀분석을 위한 표본 선별(matching)
  - ▷ 매칭 전 통계량 비교 결과, 계시별 요금제를 선택한 처치군과 선택하지 않은 대조군 간 특성 차이가 큼. 계시별 요금제는 소비자가 자발적으로 선택하여 가입하는 형식이므로, 선택편향을 최소화할 수 있도록 특성이 비슷한 처치군과 대조군을 선별한 결과, 매칭 후 대부분의 통계량이 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않음.
- 회귀 분석 결과 1: 이중차분법을 활용한 시간별 사용량 변화
  - ▷ 시간대별 전력사용량은 계시별 요금제 도입 전에 비하여 전 시간대에서 상승하였으며, 저부하 시간대의 상승 수준이 고부하 시간대보다 높은 것을 알 수 있음.
- 회귀 분석 결과 2: 이중차분법을 활용한 구간별 사용 비중 변화의 지속성 확인
  - ▷ 계시별 요금제 도입 이후 전 분기에 걸쳐 저부하 구간 대비 중부하 구간의 비중이 기존 대비 유의미하게 감소하고 있으며, 저부하 구간 대비 고부하 구간의 비중 또한 1분기, 5분기는 유의미하지 않지만 전 분기에 걸쳐 감소하고 있음.
  - ▷ 계시별 요금제 도입 이후 수요 이전 효과가 지속적으로 발생하고 있음.
- 회귀 분석 결과 3: Hausmann et al.(1979) 모델을 활용한 하루 중 사용 비중 변화에 대한 가격효과 분석
  - ▷ 계시별 요금제 적용이 하루 중 사용 비중의 변화에 미치는 가격효과를 분석한 결과, 저부하 구간 대비 중부하 구간의 비중은 2.9% ~ 4.3% 감소했으며, 저부하 구간 대비 고부하 구간의 비중은 2.3% ~ 3.6% 감소하였음.
  - ▷ 계시별 요금제 하에서 구간 별 단위요금을 상이하게 적용함으로써, 수요이전 효과가

관찰되었음.

- 회귀 분석 결과 4: Hausmann et al.(1979) 모델을 활용한 일일 사용량 변화에 대한 가격 효과 분석
  - ▷ 계시별 요금제 도입으로 인해 일일 사용량 증/감에 미치는 가격효과를 분석한 결과, 도입 후 일일 사용량이 약 9.7% 증가하였음.
  - ▷ 전력 사용량이 높은 가구일수록 누진제 대비 계시별 요금제 적용 시 한계가격이 감소하므로, 계시별 요금제 선택 가구는 전력 사용량이 높은 가구의 비중이 매우 높음.( 누진 3단계 적용 가구가 80% 이상)
  - ▷ 한계가격 감소가 일일사용량의 증가로 나타남.

## V. 연구 결과의 활용 계획

- 계시별 요금제 적용 시 수요관리 효과성 관찰 결과, 하루 중 수요 이전 효과가 발생하였으나, 일일 사용량 증가로 수요 이전 효과가 상쇄되었음.
  - ▷ 주택용 계시별 요금제 적용 가구의 하루 중 시간대별 사용량 변화 수준을 파악하여, 향후 계시별 요금제를 활용한 수요관리 시 그 역량을 보다 정확하게 활용할 수 있음. 예를 들어, 계시별 요금제 적용 시 하루 중 사용량이 고부하 시간대에서 중부하 또는 저부하 시간대로 얼마나 부하가 이동할 것인지 보다 명확하게 예측, 수요관리에 활용할 수 있음.
- 계시별 요금제 적용 시 수요관리 지속성 관찰 결과, 하루 중 수요 이전 효과가 지속적으로 관찰되었음.
  - ▷ 계시별 요금제의 효과가 시간이 지날수록 반감되거나 원상 복귀되지 않고 지속적으로 관찰되었으므로, 계시별 요금제가 중장기적 수요관리 정책으로 활용될 경우, 에너지 수요를 보다 효율적으로 관리할 수 있을 것으로 기대됨.

## 목차

1. 서론	4
2. 이론적 배경	6
3. 대한민국 제주 거주 가정용 전력소비자 대상 전기요금제	9
4. 연구 방법	12
4.1. 데이터	12
4.1.1. 데이터 취득	12
4.1.2. 데이터 전처리	12
4.1.3. 매칭	15
4.2. 분석 모델	16
4.2.1. 이중차분법: 계시별 요금제 도입 후 시간별 사용량 변화 분석	16
4.2.2. 이중차분법: 계시별 요금제 도입 후 중부하 및 고부하 사용 비중 변화 분석	18
4.2.3. 수요 모형 1단계: 하루 중 가격 효과	20
4.2.4. 수요 모형 2단계: 일별 가격 효과	21
5. 결과	24
5.1. 패널 회귀 분석 1: 하루 중 가격 효과	24
5.2. 패널 회귀 분석 2: 일별 가격 효과	25
5.3. 가격 효과의 이질성	27
5.3.1. 패널 회귀 분석 3: 사용량 그룹별 이질성	27
5.3.2. 패널 회귀 분석 4: 태양광 발전 시스템 설치 여부에 따른 가격 효과의 이질성	28
6. 토의	30
7. 결론	32
8. 참고문헌	34

## 표 목차

표 1. 대한민국 제주 거주 전력소비자 적용 누진요금제와 계시별 요금제 .....	9
표 2. 매칭 전 대조군과 처치군의 통계량 비교 .....	14
표 3. 매칭 이후 대조군과 처치군의 통계량 비교 .....	16
표 4. 계시별 요금제 도입 전 후 대조군과 처치군의 기술통계량 비교 .....	17
표 5. 계시별 요금제 도입 시 하루 중 가격 효과 .....	24
표 6. 계시별 요금제 도입의 일별 가격 효과 .....	26
표 7. 계시별 요금제 도입 전후 대조군과 처치군의 평균 일별 가격 .....	27
표 8. 소비 수준별 일별 가격 효과의 이질성 분석 .....	28
표 9. 태양광 발전 시스템 보유 여부에 따른 일별 가격 효과의 이질성 분석 .....	29

## 그림 목차

그림 1. 계시별 요금제의 하루 중 시간대별 단위 요금 예시 .....	6
그림 2. 덕 커브 .....	8
그림 3. 계시별 요금제 도입 이후 시간별 사용량 변화 .....	17
그림 4. 계시별 요금제 도입 이후 분기별 사용량 비중 변화 .....	19
그림 5. 누진요금제 단계별 예산 선형화 .....	22
그림 6. 태양광 발전 시스템 보유 여부에 따른 중부하 및 고부하 구간의 가격 비율 변화에 대한 사용량 비율 변화 비교 .....	25

## 1. 서론

현대 사회의 인류는 전기를 먹고 산다는 말이 있다. 그만큼 현대 사회를 살아가는 인간에게 있어 전기는 생활을 영위하는데 가장 중요한 자원 중 하나이다. 그동안 전 세계의 성실한 전력 공급자들은 다양한 전력 믹스를 활용하여 소비자가 필요로 하는 양의 전기를 공급해왔다. 그러나 기후위기에 대응하기 위해 화석연료 사용의 종말을 고하고 재생에너지로의 전환이 시급한 앞으로도 우리는 지금까지와 같이 필요한 때엔 언제든 전기를 쓸 수 있을까?

아쉽게도, 에너지 전환 시대의 전력 공급자들은 더 이상 지금과 같이 수요에 맞추어 유연하게 전기를 공급하기 어렵다. 재생에너지로 발전하는 전기는 자연조건이 허락하는 때에만 발전이 가능한 변동성 높은 자원이고, 전력공급자들은 공급과 수요의 균형을 더욱 유연하게 조정해야 하는 새로운 현실에 직면하고 있다(Joskow, 2019). 계속해서 공급 측면에서만 수요-공급 균형을 도모하기에는 변동성을 관리하는 데 필요한 제반 인프라 비용이 너무 크고 비효율적이다(Strbac, 2008). 수요관리의 중요성은 여기서 시작한다.

수요 또한 공급과 균형을 이루기 위해 '관리'될 때, 우리는 보다 효과적으로 재생에너지에 기반한 에너지전환을 가속화할 수 있다. '가격 신호'의 제공은 수요를 관리하는 경제적 수단 중 하나이다. 계시별 요금제(Time-Of-Use, TOU) 가장 기본적인 형태의 가격 신호를 제공하며, 이 신호에 따라 소비자들은 수요가 높을 때에는 높은 가격 신호에 반응하여 수요를 저감하고, 수요가 낮을 때에는 낮은 가격 신호에 반응하여 수요를 높일 것으로 기대된다. (Faruqui, 2010) 이를 '수요 반응'이라고 한다.

본 연구는 현재 대한민국 제주도에서 시행되고 있는 계시별 요금제를 선택한 소비자들의 전력 행태 변화를 살펴봄으로써 계시별 요금제의 수요 관리 효과를 분석하였다. 계시별 요금제가 실시되기 전 실증연구를 기반으로 수요 관리 효과를 평가한 연구 결과가 있으나 이는 소비자의 자발적인 선택이 아닌 실증사업의 결과를 분석한 것이므로(Kim et al., 2022; Jang et al., 2024), 계시별 요금제가 기존 누진요금제와 병행하여 시행되고 있는 조건에서 자발적으로 요금제를 선택한 소비자들의 행태 변화를 파악해 볼 필요가 있다.

계시별 요금제를 선택한 소비자들에게서 관찰되는 효과 중 그 첫 번째는 가격 신호에 반응한 소비자들의 수요 평탄화 현상이다. 경부하 시간대 대비 중간 부하 및 고부하 시간대의 사용 비율이 최대 4.3% 감소하면서, 경부하 시간대와 고부하 시간대 간의 사용량 격차가 좁아졌다. 그러나 소비 패턴의 평탄화가 반드시 첨두 부하 삭감(peak shaving) 보장하는 것은

아니다.

계시별 요금제 도입 후 일별 한계 가격 감소로 인한 가격 효과는 일일 사용량의 증가로 이어졌다. 계시별 요금제를 적용한 세대 전반이 요금 절약을 경험하면서 추가 전력 소비로 이어진 것이다. 고부하 구간의 첨두 부하 삭감(Peak Shaving) 현상은 관찰되지 않으며, 오히려 7% 내외의 사용량 증가를 보인다. 하루 총 전력 사용량은 해당일의 한계 가격에 대하여 음의(-) 영향을 받지만, 계시별 요금제 도입으로 인해 한계 가격 자체가 하락하면서 하루 전체 소비가 증가하였다. 이는 계시별 요금제를 선택한 가구들이 가격 인하 효과를 경험하면서 모든 시간대에서 전력 소비가 증가했음을 시사한다. 본 연구에서는 이러한 효과를 명확히 구분하기 위해 하루 중 시간대별 효과와 하루 전체 소비 효과를 분리하여 분석한다.

다음으로, 전력소비자 특성에 따른 계시별 요금제 도입 효과의 이질성을 분석한 결과, 요금제 도입에 따른 전체 소비 변화는 가구별 사용 수준에 따라 다르게 나타난다(Borenstein, 2013). 본 연구에서는 현재의 선택적(opt-in) 계시별 요금제 체계에서 계시별 요금제 사용 가구의 분포가 전력 소비량이 높은 가구에 편중되어 있을 뿐 아니라, 이러한 가구에서 하루 소비 증가 효과가 가장 강하게 나타나는 것을 확인하였다. 고사용량 가구에서 관찰된 유의미한 하루 소비 증가는 주로 한계 가격의 급격한 감소에 기인한다. 또한, 태양광 발전 시스템(PV)을 설치한 가구는 가격 변화에 대한 반응성이 낮았으며, 계시별 요금제 도입 후 소비 증가 폭도 태양광 발전 시스템이 없는 가구보다 작았다.

본 연구를 통해 규명한 계시별 요금제의 효과 분석 결과는 향후 효과적인 계시별 요금제의 설계에 기여할 수 있다. 계시별 요금제 시행을 통해 본래 목표했던 수요관리 효과를 극대화하면서, 기존의 누진 요금제가 구현해 온 사용량 역제의 효과를 최대한 보전하여 에너지전환의 속도를 늦추지 않는 지점에서 최적 설계가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 이는 계시별 요금제의 수요관리 역량을 파악하여 정확한 수요관리 시행을 돕고 수요자와 공급자의 수익을 실현하는 일이기도 하다.(Yang et al., 2013) 나아가, 재생에너지 기반 전력시스템으로의 전환을 촉진하고, 에너지 전환과 기후변화 대응에 기여할 수 있다.

## 2. 이론적 배경

계시별 요금제는 소비자에게 가격 신호를 제공하여 시간대별, 계절별 수요를 관리하는 것을 목표로 한다. 하루 중 단위 요금이 변화하지 않는 일반적인 정액요금제(Flat-rate Pricing)와 달리, 계시별 요금제는 계절별, 시간별로 전력 사용량의 단위 요금이 달라지는 요금제이다. 요금 구간은 보통 3개의 구간으로 구분되며, 가장 전력 수요가 높은 구간을 고부하 구간(Peak period), 중간 수준의 전력 수요를 갖는 구간을 중부하 구간(Mid-peak period), 가장 수요가 낮을 때의 구간을 경부하 구간(Off-peak period)이라 한다(그림 1.). 각 구간별 단위 요금은 고부하 구간에서 가장 높고, 경부하 구간에서 가장 낮다. 높은 단위 요금은 수요가 높은 고부하 시간에 주어지 수요를 억제하고, 낮은 단위 요금은 수요가 낮은 경부하 구간에 주어지 해당 시간대의 에너지 수요를 늘리도록 가격 신호를 소비자에게 제공한다. 중부하 구간은 경부하 구간과 고부하 구간 사이의 중간 수준의 요금이 적용된다. 이러한 요금 체계는 소비자가 고부하 구간의 전력 사용을 줄이고 상대적으로 저렴한 시간대로 전력 소비를 이동하도록 유도하여, 전력 수요 곡선을 평탄화하고 자원의 효율적 배분을 가능하게 한다.

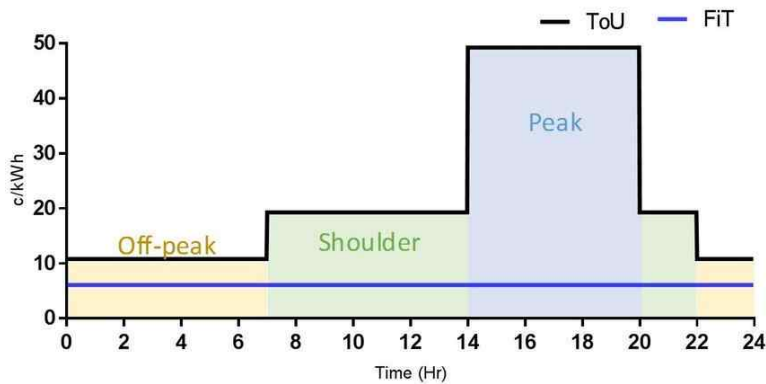


그림 1. 계시별 요금제의 하루 중 시간대별 단위 요금 예시

이와 같은 가격신호를 통해 수요를 평탄화하고자 하는 노력은 전력 공급 비용을 줄이기 위 함인데, 이 때의 원리는 수요와 공급이 실시간으로 일치해야 하는 전력 시스템의 독특한 특성에 기인한다. 우리가 사용하는 전기는 높은 비용이 드는 제한적인 방식(양수발전, 대규모 ESS 등)을 제외하고는 저장이 불가하기 때문에 반드시 수요와 공급이 실시간으로 일치해야 한다. 그리고 전통적인 대형 발전소의 구동 방식은 한번 가동하면 최대한 많은 시간을 돌려야 규모의 경제를 실현할 수 있다. 이로 인해 경제 급전 체계에서는 가장 생산 단가가 낮은 발전소부터 전력 공급을 시작하며, 이를 기저전원이라고 한다. 수요가 증가할수록 시스템이 보유하고 있는 비싼 발전기가 순서대로 가동되며, 전술한 고부하 구간이 바로 가장 비싼 발전기가 가동

되는 시간대라고 할 수 있다. 고부하 구간 중에서도 전력 사용량이 치솟는 때를 가리켜 첨두 부하라고 하며, 전력 공급자들이 가지고 있는 전원으로 첨두부하를 감당할 수 없게 되면 새로운 발전설비를 갖춰야 하므로 대규모 투자가 필요하게 된다.

따라서, 계시별 요금제는 추가 인프라 건설 없이 수요를 조절하여 안정적인 전력 공급을 실현하는, 훌륭한 비용 효율적인 전략이다(Strbac, 2008). 공급자 입장에서 계시별 요금제를 통하여 고부하 구간의 전력 사용량을 낮출 수 있다면, 높은 단가의 발전기를 돌리지 않아도 될 뿐만 아니라, ‘고부하’ 시간에만 잠깐 필요하게 되는 추가 발전설비를 확보하지 않아도 되므로 전반적인 설비 이용률 또한 개선된다(Dong et al., 2017). 계시별 요금제는 소비자 형평성을 확보하는 측면도 있는데, 낮은 생산 단가의 전력을 사용하는 소비자에게 낮은 전기 요금을 적용하기 때문에, 그간 높은 생산 단가의 전력을 사용하고도 똑같은 정액제를 적용받는 요금제보다 소비자가 효율적인 전력시스템 운영에 도움이 되는 수요 패턴을 가지고 있을 때 더 큰 혜택이 돌아갈 수 있도록 한다(Faruqui, 2010).

위와 같이 계시별 요금제는 비용 효율적인 전략임에도 불구하고, 실상 해당 요금제를 실제로 채택한 나라는 많지 않다. 선행 연구 결과에 따르면, 주택용 계시별 요금제 선택률은 1% ~ 40%까지 상이하며(Cappers et al., 2016, Nicolson et al., 2018), 가정 소비자의 가격 신호 반응은 미미하다는 연구 결과도 있다(Faruqui et al., 2014). 계시별 요금제의 고부하 구간과 경부하 구간의 단위 가격 차이 대비 소비자가 고부하 구간에서 경부하 구간으로 수요를 이전하는 탄력성이 낮기 때문에, 실효성이 부족하다는 연구 결과 또한 존재한다(Burns and Mountain, 2021). 결국 소비자들은 자신들의 수요를 옮겨서 전기 요금을 절약할 수 있을지 명확하지 않기 때문에(Alexander, 2010, Faruqui, 2010, Hogan, 2010) 계시별 요금제를 쉽사리 선택할 수 없다. 공급자도 상황은 비슷한데, 마찬가지로 정작 고부하시간대에 사용량이 많은 소비자들은 계시별 요금제를 선택하지 않고, 이미 수요가 평탄한 소비자들만 계시별 요금제를 선택하는 ‘무임승차’ 효과로 인해(Hartway et al., 1999, Woo et al., 2008) 본래 의도했던 수요 관리 효과 없이 기존의 수익만 저하될 것을 우려한다(Faruqui et al., 2020, Choi et al., 2020). 실제로 계시별 요금제를 선택할 수 있는 제도하에서 고부하 구간 사용량이 적은 가구들이 높은 가입률을 보였다(Qiu et al., 2017).

이와 같이 별다른 성과를 거두고 있지 못해 온 가정용 계시별 요금제가 최근 다시금 조명받는 것은 재생에너지 기반의 에너지 전환을 실현하는 데 수요 관리 전략이 필수 불가결하기 때문이다. 에너지 전환이 시대적 화두가 된 지금 수요 관리의 역할이 각광받고 있는 이유는 바로 현재의 전력시스템이 재생에너지 변동성 문제를 해결해야 할 처지에 놓였기 때문이다. 재

생에너지는 탄소배출 없이 전기를 생산하는 에너지 전환의 주역으로, 전 세계적으로 전력시스템 내 재생에너지 비중이 가파르게 증가하고 있다. 그러나 재생에너지는 자연조건이 허락할 때에만 발전이 가능하며, 자연조건에 따라 그 양이 변화하는 변동성 에너지원이다(그림 2.). 변동성 재생에너지는 전력 공급의 양과 시점을 제어할 수 없다는 면에서, 공급자가 필요한 언제든지 전력을 생산하거나 그 양을 조절할 수 있었던 화석연료 기반의 발전설비와 큰 차이를 갖는다. 바로 이 지점에서 계시별 요금제의 수요관리 역량이 재조명받게 되는 것이다. 전력 시스템의 안정성 확보를 위해서는 수요와 공급의 균형이 중요한데, 재생에너지가 시스템에 통합될수록 공급량의 제어가 어려워지기 때문에 수요 관리의 중요성이 부상하게 된다. 이때 기존 누진요금제 체계는 시간대별 전력 요금을 차별화하지 않기 때문에 가격 신호를 제공할 수 없는 반면, 계시별 요금제는 이러한 문제를 해결할 수 있는 수요 관리 기능을 제공한다. 특히, 기존의 공급 측면 통제 방식이 재생에너지 변동성에 대응하는 데 한계를 보이는 상황에서, 계시별 요금제의 중요성이 더욱 부각된다.

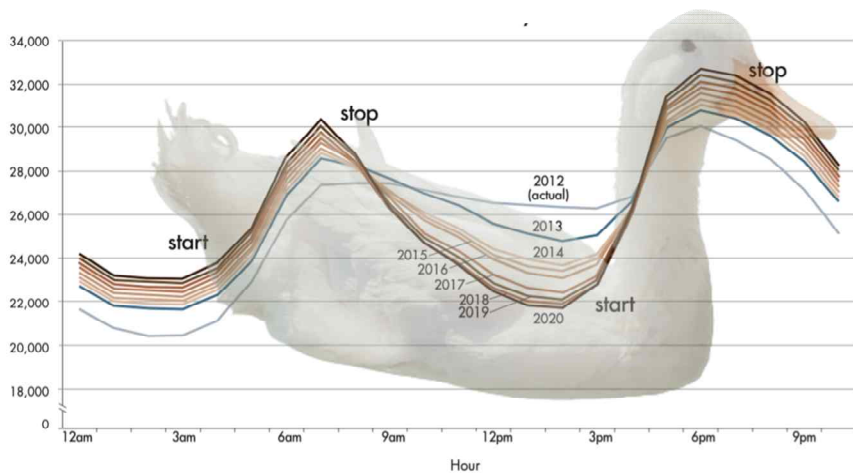


그림 2. 덕 커브(Duck Curve, 자가 태양광 발전량이 (-)부하로 집계되어 하루 중 부하곡선이 오리 모양을 띠는 현상)

또한 최근 들어 가정 소비자 전반의 수요관리 역량이 향상되고 있으므로, 계시별 요금제의 수요관리 효과를 다시금 면밀히 분석해 볼 필요가 있다(Liang et al., 2020). 스마트 가전 등 가전 활용 시 수요 반응이 용이해지므로 수요 저감 및 수요를 이전할 수 있는 기술이 동반될 경우, 계시별 요금제의 수요관리 효과가 증대된다(Faruqui and Sergici, 2010). 기후변화와 에너지 전환에 대한 인식 제고에 따라 재생에너지 및 에너지 고효율 제품에 대한 인식이 확산된 점 또한 긍정적인 요소이다. 계시별 요금제가 환경 및 에너지자립에 기여한다는 인식을 가진 소비자들의 경우에 선택적 계시별 요금제에 대한 가입률이 높았다(Parag, 2021).

### 3. 대한민국 제주 거주 가정용 전력소비자 대상 전기요금제

제주도는 대한민국에서 최초로 시간별 전력사용량 측정이 가능한 스마트 미터 보급률 100%를 달성한 지역으로, 2021년 9월부터 국내에서는 유일하게 가정용 계시별 요금제가 도입되었다. 계시별 요금제 도입 이전까지 한국의 모든 가정용 소비자는 누진요금제를 적용받았는데, 본 연구의 수행기간 동안 제주도 가정용 전력소비자들이 적용받은 누진요금제 및 계시별 요금제의 구조는 표 1에 정리되어 있다. 계시별 요금제는 일괄 누진요금제를 적용받던 소비자들 개개인이 자발적으로 선택, 신청하여 적용받는 형식으로 제공되었다. 계시별 요금제를 선택한 가구는 당월 검침일 이후로 계시별 요금제를 적용받거나, 적용 시작 일자를 직접 선택할 수 있었다. 다음 달부터 계시별 요금제를 적용받았으며, 선택하지 않은 가구는 자연히 기존대로 누진요금제 적용을 받는다.

Low Voltage IBP (2020.01 - 2022.12)				
Tier	Basic Charge (KRW/HH)	Unit Price [min, max] (KRW/kWh)	Cumulated Consumption (kWh)	
			Non-summer	Summer (7,8)
1	1,035	[103, 128]	0 ~ 200	0 ~ 300
2	1,819	[211, 235]	200 ~ 400	300 ~ 450
3	8,300	[316, 341]	400 ~ 1,000	450 ~ 1,000
Super	8,300	[804, 829]	1,000 ~	1,000 ~
TOU (2021.09 - 2022.12)				
		Unit Price [min, max] (KRW/kWh)		
		Spring/Autumn	Summer(7,8)/Winter(12,1,2)	
Off-peak(22h ~ 8h)		[113, 135]	[128, 150]	
Mid-peak(8h ~ 16h)		[145, 167]	[180, 202]	
Peak(16h ~ 22h)		[166, 187]	[221, 243]	
Super	Same as IBP			
Basic Charge (KRW/kW)	4,900			

표 1. 대한민국 제주 거주 전력소비자 적용 누진요금제와 계시별 요금제 (2020.01 ~2022.12까지 요금이 변화하는 바, 해당 기간 내 가장 낮은 값과 높은 값을 표기하였다.)

누진요금제는 소비량이 증가할수록 전기 단위 가격이 상승하는 단계별 요금제 구조를 가진다. 기타 계절 기준(Non-Summer), 최초 200kWh까지는 1단계(Tier 1) 요금이 적용되며, 이후 200kWh(200~400kWh)는 2단계(Tier 2) 요금이 적용된다. 400kWh를 초과하는 사용량에 대해서는 3단계(Tier 3) 요금이 적용된다. 하계에는 각 단계별 단위 요금은 동일하지만, 구간별 최대 최소 사용량 기준이 조정된다. 반면, 계시별 요금제는 소비량과 관계없이 시간대 및 계절에 따라 단위 가격이 차등 적용되는 방식이다.

두 요금제는 기본요금 부과 방식에서도 차이를 보인다. 누진요금제에서는 기본요금이 전력

소비량에 따라 달라지는 반면, 계시별 요금제는 소비량과 무관하게 계약 전력 기준으로 기본 요금을 부과한다. 저압 고객의 경우 일반적으로 3kW를 계약하는데, 이 경우 계시별 요금제의 기본요금은 14,700원으로, 누진요금제의 기본요금보다 훨씬 높다. 이는 누진요금제 기준으로 월 약 100kWh를 사용하는 가구의 전체 전기 요금(기본요금+전력량요금)보다도 높은 수준이다.

또한, 계시별 요금제의 단위 요금은 누진요금제의 1단계 및 2단계 요금과 유사한 수준이기 때문에, 3kW 계약을 유지하면서 월 300kWh 정도를 소비하는 가구의 경우, 모든 소비가 경부하 구간에 이루어진다 해도 누진요금제보다 계시별 요금제의 총 요금이 더 높게 산출된다. 한국전력공사(KEPCO, 2022)에 따르면, 제주도의 평균 가구 전력 소비량은 244.97kWh로, 결국 많은 제주도민에게 계시별 요금제로 전환할 경제적 유인이 부족한 상황이다.

반면, 누진요금제 3단계 요금을 적용받는 고소비 가구의 경우, 계시별 요금제 단위 요금이 항상 누진요금제 3단계 요금보다 낮기 때문에, 사용 패턴과 관계없이 계시별 요금제가 경제적으로 유리할 가능성이 높다. 이에 따라, 한국전력공사는 계시별 요금제 홍보를 위해 계시별 요금 시뮬레이션 웹사이트를 운영하여 소비자들이 자신의 월평균 전력 사용량과 사용 패턴을 입력하면 계시별 요금제 선택 시 예상되는 전기 요금 절감 효과를 확인할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 전력사용량이 많은 가구는 계시별 요금제 도입 시 3단계 구간 가격보다 계시별 요금제 단위 가격이 낮으며, 이에 따른 비용 절감 가능성이 높다는 것을 보다 쉽게 인식할 수 있었다. 또한, 한국전력공사는 미디어 캠페인을 통해 사용량이 많은 가구의 계시별 요금제 도입을 적극적으로 유도하였다. 2021년 9월 계시별 요금제 도입 초기, 월 450kWh 이상 사용하거나 월 전기 요금이 85,000원 이상인 가구를 대상으로 계시별 요금제의 경제적 이점을 강조하는 홍보 활동이 이루어졌다(제주 MBC, 2021).

한편, 수퍼유저요금은 월 1,000kWh 이상 전력 소비를 기록한 가구에게 추가 kWh 사용당 804원~ 829원이 일괄 부과되는 요금제로, 이는 누진요금제와 계시별 요금제 모두에 동일하게 적용된다. 즉, 월 1,000kWh를 초과할 경우 계시별 요금제가 더 이상 적용되지 않고, 수퍼유저요금의 적용을 받는다.

계시별 요금제는 시행 이후 총 6차례의 가격 변동이 이루어졌다. 여기에는 2022년 4월과 10월의 가격 조정뿐만 아니라 봄/가을, 여름/겨울 간 계절별 차등 요금 적용도 포함된다. 표 1에 제시된 값들은 편의상 기후·환경 부담금, 연료비 조정 요금, 전력 요금, 부가가치세 등을 모두 반영한 실제 소비자 부담 요금을 반영하고 있다.

또한, 누진요금제 체계에는 공동 주택의 공동 계약 하에 적용받는 고압 주거용 요금제와 개별 계약을 적용받는 저압 주거용 요금제가 포함된다. 그러나 계시별 요금제는 저압 고객에게만 선택권이 주어지며, 고압 고객은 아파트 전체 가구가 모두 선택하지 않는 이상 계시별 요금제를 선택할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 고압 고객을 분석 대상에서 제외한다.

## 4. 연구 방법

### 4.1. 데이터

#### 4.1.1. 데이터 취득

계시별 요금제 도입 시 가구의 시간대별 전력 소비 패턴 변화를 분석하기 위해, 2020년 1월부터 2022년 12월까지 3년간의 시간당 전력 사용량 데이터를 확보하였다. 제주도에 계시별 요금제가 도입된 시점이 2021년 9월이므로, 계시별 요금제 도입 전후의 데이터를 모두 분석할 수 있었다. 해당 기간의 데이터를 2022년 12월 기준으로 계시별 요금제를 적용받고 있는 1,392가구의 처치군(Treatment Group)과 함께, 계시별 요금제를 선택하지 않은 제주도 내 10,000가구에 걸쳐 대조군(Control Group)을 확보하였다. 이 때 계시별 요금제를 선택한 1,392가구는 제주도 전체 가구의 약 0.5%에 해당한다(한국 인구주택총조사, 2022).

위의 시간당 전력 사용량 데이터와 함께, 한국전력공사가 보유하고 있는 월별 가구 특성 정보 데이터를 함께 연구에 활용하였다. 월별 가구 특성 정보는 동일한 분석 기간(2020-2022)에 대해 제공되었으며, 주로 누진요금제 체계에서 전기 요금 산정과 관련된 정보로 구성되었다. 이 데이터에는 월별 전기 요금, 월별 전력 사용량, 할인 내역 및 할인 유형(예: 저소득층 할인), 태양광 발전 시스템 설치 용량, 가구원 수(5인 이상 여부) 등의 정보가 포함되었다. 한국전력공사는 “데이터 안심구역”을 통해 대한민국 국민이라면 누구나 비식별화된 가구 수준의 전력 소비 데이터를 무료로 연구에 이용할 수 있도록 개방하고 있다. 본 연구에서 활용된 모든 데이터는 비식별화 절차를 거친 후 데이터 안심구역을 통해 획득되었다.

다만, 대조군 가구들의 시간당 전력 사용량 데이터는 결측치 및 측정치의 부정확성이 처치군에 비하여 상대적으로 더 높은 경향을 보였다. 이는 누진요금제에서는 시간당 전력 사용량 데이터가 전기 요금 계산에 필수적이지 않고 단순 기록용이기 때문이다. 반면, 계시별 요금제 가구의 시간당 전력 사용량은 이를 시간대별로 달라지는 단위 요금에 곱하여 전기 요금을 계산하므로 해당 데이터가 매출에 직결되는 요소이고, 따라서 데이터 품질이 상대적으로 우수하였다. 이러한 시간 단위 소비 데이터와 월별 가구 특성 정보를 종합적으로 활용함으로써, 다양한 유형의 가구에서 계시별 요금제가 미친 영향을 보다 깊이 있게 분석할 수 있었다.

#### 4.1.2. 데이터 전처리

획득한 데이터는 특정 시점에서 시행된 처치에 따른 변화를 분석하는 이중차분법

(Difference-in-Differences, DiD) 분석에 적합하다. 그러나 제주도에서는 2021년 9월 계시별 요금제가 도입된 이후, 가구별로 상이한 시점에 계시별 요금제를 선택할 수 있었기 때문에, 계시별 요금제 도입 시점이 개별적으로 다르게 나타난다. 이에 따라 처치 시점을 통일하기 위해, 2021년 9월에 계시별 요금제를 선택한 가구만을 처치군으로 제한하였다.

1,392개 가구의 계시별 요금제 가입 시점을 확인한 결과, 약 60%에 해당하는 810개 가구가 2021년 9월에 가입한 것으로 나타났다. 또한, 9월에는 처치군의 경우 누진요금제와 계시별 요금제가 혼재되어 있어, 계시별 요금제의 일괄 적용 시점을 10월 1일로 맞추기 위해 2021년 9월 데이터를 분석에서 제외하였다. 결과적으로, 2020년 1월 ~ 2021년 8월을 처치 이전 기간(pre-treatment), 2021년 10월 ~ 2022년 12월을 처치 이후 기간(post-treatment)으로 설정하였다. 이 때 데이터 분석을 위해 원자료에서 다음과 같은 정보를 선별하였다.

- (i) 시간당 전력 사용량(hourly usage)
- (ii) 고객 ID(customer ID)
- (iii) 미터기 ID(meter ID)
- (iv) 저압/고압 여부(low/high voltage status)
- (v) 계시별 요금제 도입일(TOU adoption date)
- (vi) 전기 요금 산정 시작일(start date of electricity bill calculation)
- (vii) 전기 요금 산정 종료일(end date of electricity bill calculation)
- (viii) 월별 사용량(monthly usage)
- (ix) 월별 청구 요금(monthly billing amount)
- (x) 월별 전력 사용 요금(meter bill)
- (xi) 가정용 태양광 발전 시스템 용량(PV capacity)
- (xii) 5인 이상 가구 여부(family status >4 members)

데이터 전처리 전 초기 데이터는 대조군 10,000가구와 처치군 1,392가구, 총 11,392가구로 구성되었다. 이후, 2021년 9월에 계시별 요금제를 선택한 가구만 유지하고, 총 35개월(2020년 1월~2022년 12월, 9월 제외) 중 최소 절반 이상( $\geq 18$ 개월)의 관측값을 보유한 가구만 유지하였다. 또한, 한 달 동안 1,000kWh 이상을 소비하여 수퍼유저 요금제가 적용된 가구는 해당월에 계시별 요금제가 적용되지 않으므로 해당 가구들의 전체 데이터를 분석에서 제외하였다. 이러한 과정에서 총 7,588가구가 남았으며, 그중 처치군은 512가구였다.

이후 결측값을 제거하는 과정을 거쳤다. 사용량이 기록되지 않았거나 '0'으로 표기된 경우

결측값으로 간주하여 삭제하였으며, 일일 사용량 합계가 월 사용량보다 큰 경우도 잘못 기록된 결측값으로 처리하였다. 또한, 월별 요금 산정 기간(종료일 - 시작일 + 1)이 한 달을 초과하거나 부족한 경우 이상치로 간주하여 제외하였다. 이러한 과정에서 데이터는 총 5,350가구(처치군 504가구)로 축소되었다.

다음으로, 사용량의 극단치를 제거하였다. 평균 일 사용량이 상위 0.5% 또는 하위 0.5%에 해당하는 가구를 제외한 결과, 최종적으로 5,297가구(처치군 481가구), 총 9,918,008개 관측값이 남았다. 마지막으로, 처치 이후 기간 동안 태양광 발전 시스템(PV)을 새롭게 설치한 가구를 제외하였다. 이는 계시별 요금제 도입 이후 태양광 발전 시스템을 새롭게 설치한 가구의 경우, 전력 소비 패턴의 변화가 요금제 자체의 효과가 아닌 패널 설치 요인에 기인할 가능성이 높기 때문이다. 이를 반영한 최종 데이터는 총 4,964가구(처치군 481가구)였다.

Descriptive Statistics	Control	Treatment	Control-Treatment (Standard Error)
Number of households	4,483	481	
Monthly Use (kWh)	227	496	-269*** (3.618)
Monthly Bill (KRW)	30,141	92,148	-62,007*** (1,005)
Meter Bill (KRW)	27,669	82,232	-54,563*** (806)
Daily Use (kWh)	8.484	16.532	-8.049*** (0.139)
Peak-ratio	0.900	0.925	-0.025 (0.018)
Mid-ratio	0.965	0.919	0.047** (0.024)
Family (> 4)	0.052	0.269	-0.218*** (0.021)
Final Tier	1.591	2.774	-1.183*** (0.015)
PV Capacity (kW)	0.599	0.061	0.538*** (0.011)
Proportion of Final Tier			
- Tier 1	52%	20%	50%***
- Tier 2	37%	18%	19%***
- Tier 3	11%	7%	3%
Proportion of PV Installation			
- PV Installed HH	14%	2%	12%***
- No PV installed HH	86%	98%	-12%***

표 2. 매칭 전 대조군과 처치군의 통계량 비교(‘월사용량 종착 단계’ 및 ‘태양광 발전 시스템 보유 여부’의 경우 카이제곱 검정 수행)

처치군과 통제군의 통계적 특성을 비교한 결과는 표 2에 정리되어 있다. 표 2에서 중부하 비율(mid-ratio)은 중부하 구간 전력 사용량을 경부하 구간 전력 사용량으로 나눈 값이며, 고부하 비율(peak-ratio)은 고부하 구간 전력 사용량을 경부하 구간 전력 사용량으로 나눈 값이다. 예를 들어, 특정 가구가 특정 날짜에 경부하 구간에서 1.2kWh, 중부하 구간에서 1.5kWh, 고부하 구간에서 1.8kWh를 사용했다면, 해당 가구의 중부하 비율은 1.25이며, 고부하 비율은 1.5가 된다. 표 2.에 따르면 처치군과 통제군 간 모든 통계적 지표에서 유의한 차이가 관찰되었으나, 고부하 비율에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 대조군과

처치군의 특성이 서로 다름을 의미하며, 이중차분법 분석을 수행하기 위해서는 서로의 특성이 유사한 집단을 매칭하는 것이 필요하다.

#### 4.1.3. 매칭

처치군과 통제군간 특성 차이가 존재할 경우, 유사한 특성을 가진 가구를 선택하여 매칭하고, 매칭된 표본만을 분석의 대상으로 적용함으로써 보다 신뢰성 있는 이중차분법 분석이 가능하다(Alberini & Towe, 2015). 면밀한 이중차분법 분석을 위해서는 처치 이전 시점에서 처치군과 통제군 간 차이가 없어야 하는데, 표 2에서 확인할 수 있듯이, 고부하 비율을 제외한 모든 기술 통계량에서 두 그룹 간 유의한 차이가 존재했다.

이에 따라, 계시별 요금제 도입을 기준으로 유사한 특성을 가진 처치군과 대조군의 가구들을 매칭하기 위해 매칭 변수를 설정하였다. 첫 번째 매칭 변수는 가구별 평균 월별 사용량으로 설정하였다. 두 번째로, 각 시간대별 사용 패턴을 반영하기 위해, 평균 고부하 비율과 평균 중부하 비율을 매칭 변수로 사용하였다. 또한, 계시별 요금제 도입 직전인 2021년 8월을 기준으로 가구에 설치된 태양광 발전 시스템 용량과, (5인 이상) 다가구 여부도 매칭 변수에 포함하였다.

매칭의 기법으로는 Coarsened Exact Matching (CEM) 기법을 적용하였다. CEM은 각각의 매칭 변수의 값을 여러 개의 구간으로 나누고, 가구별 매칭 변수 값이 모든 변수에서 같은 구간에 속하는 처치군 가구와 대조군 가구를 매칭하는 방식이다. 구간 설정 과정은 연구자의 주관에 개입될 수 있지만, 변수 간의 불균형을 효과적으로 줄이는 역할을 한다. 또한, 또 다른 매칭 방식인 Propensity Score Matching (PSM)과 비교했을 때, CEM은 사전 모델 추정에 따른 편향을 줄일 수 있으며, 처치군과 대조군의 개체를 더 많이 보존할 수 있는 장점이 있다(Iacus et al., 2012). 본 연구에서 적용한 매칭 변수의 구간 설정은 다음과 같다.

- i) 중부하 비율 및 고부하 비율: 0.25 단위로 구간 설정
- ii) 월별 사용량: 50 kWh 단위로 구간 설정
- iii) 태양광 발전 시스템 용량: 1 kW 단위로 구간 설정
- iv) 가구원 수: 이진 변수: 5인 이상 가구일 경우 1, 그렇지 않으면 0으로 정의

매칭 결과, 처치군 339가구와 통제군 899가구가 매칭되어 최종 분석에 활용되었다. 표 3에서는 매칭된 통제군과 처치군의 통계적 특성을 비교하였다. 매칭 후에는 청구 요금 및 사용 비율을 제외한 모든 변수에서 두 그룹 간 유의한 차이가 사라진 것을 확인할 수 있었다.

Descriptive Statistics	Control	Treatment	Control - Treatment (Standard Error)
Number of households	899	339	
Monthly Use	476.340	483.474	-0.384 (5.896)
Monthly Bill	81,424	89,735	8,312*** (2,185)
Meter Bill	72,586	79,054	6,469*** (1,611)
Daily Use	16.131	16.350	0.218 (0.197)
Peak-ratio	0.890	0.892	0.002 (0.018)
Mid-ratio	0.921	0.927	0.006 (0.024)
Family (> 4)	0.186	0.186	0.000 (0.041)
Final Tier	2.688	2.739	0.051* (0.026)
Proportion of Final Tier			
- Tier 1	2%	3%	-1%***
- Tier 2	27%	21%	6%**
- Tier 3	71%	76%	-5%
PV Capacity	0.041	0.053	0.012 (0.024)
Proportion PV Installation			
- PV Installed HH	1%	2%	-1%***
- No PV installed HH	99%	98%	1%***

표 3. 매칭 이후 대조군과 처치군의 통계량 비교(‘월사용량 종착 단계’ 및 ‘태양광 발전 시스템 보유 여부’의 경우 카이제곱 검정 수행)

## 4.2. 분석 모델

### 4.2.1. 이중차분법: 계시별 요금제 도입 후 시간별 사용량 변화 분석

본 연구에서는 계시별 요금제를 선택한 가구의 전력 소비 행동 변화를 분석하기 위해 이중차분법(Difference-in-Differences, DiD) 분석을 수행하였다. 분석 모델은 다음과 같다.

$$\ln(Use_{i,h,d}) = \beta_h + \sum_h \gamma_h \cdot Hour_h \cdot Treat_i \cdot Post_d + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,h,d} \quad (1)$$

여기서 종속변수는 가구  $i$ 가 날짜  $d$ 의 특정 시간  $h$  동안 소비한 전력량의 로그 값을 의미한다. 각 변수별 설명은 다음과 같다.

- $Treat_i$  는 가구  $i$ 가 처치군에 속할 경우 1, 그렇지 않으면 0이다.
- $Post_d$  는 날짜  $d$ 가 계시별 요금제 도입 이후(2021년 9월 1일 이후)이면 1, 그렇지 않으면 0이다.
- $Hour_h$  는 특정 시간  $h$ 에 해당하는 더미 변수로, 해당 시간대에는 1, 그렇지 않으면 0이다.
- $\alpha_i$  는 가구별 고정 효과(household-specific fixed effects),
- $\beta_h$  는 시간별 고정 효과(hour-specific fixed effects),

- $\delta_{.d}$  는 날짜별 고정 효과(date-specific fixed effects),
- $\epsilon_{.i,h,d}$  는 오차항(error term)을 나타낸다.

모형에서 이중차분(DiD) 분석의 핵심 계수는 Treat와 Post의 상호작용항의 계수인  $\gamma_{.h}$ 이며, 이를 통해 계시별 요금제 도입 전후 가구의 소비 변화 양상을 분석할 수 있다. 그림 3은 이중차분 회귀 분석의 결과로 도출된  $\gamma_{.h}$  계수를 시각화한 것으로, 분석 결과, 모든 시간대에서 전력 소비량이 증가하는 경향이 관찰되었다. 다만, 경부하 구간의  $\gamma_{.h}$  값이 가장 높았으며, 고부하 및 중부하 구간의  $\gamma_{.h}$  값은 상대적으로 낮은 수준을 보였다.

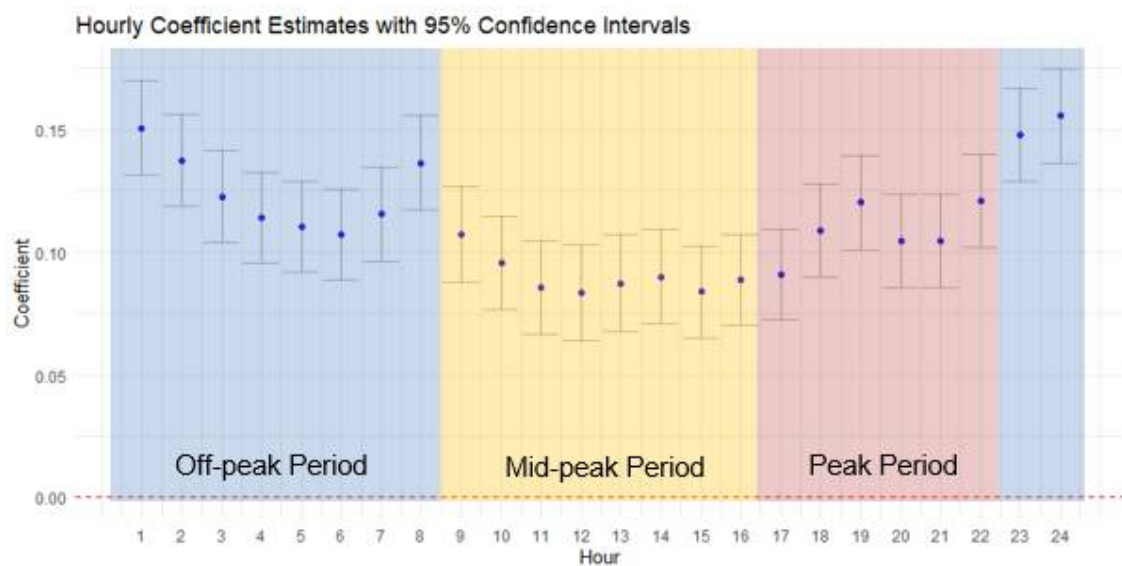


그림 3. 계시별 요금제 도입 이후 시간별 사용량 변화

표 4는 매칭된 데이터를 바탕으로 처치 이전 기간과 처치 이후 기간의 기술통계량을 나타낸다. 표 4에 따르면, 일간 및 월간 전력 사용량 기준으로, 대조군의 전력 소비량은 처치 전후 약 10% 감소한 반면, 처치군의 감소폭은 상대적으로 작았다. 이는 이중차분 분석에서 도출된 양(+)<sup>1</sup>의 계수와 일치하는 결과이다.

	Pre-Treatment Period		Post-Treatment Period	
	Control Group	Treatment Group	Control Group	Treatment Group
Daily Use	16.112	16.354	14.564	16.220
Monthly Use	488.676	495.797	443.169	488.663
Monthly Bill	83,752	92,368	76,124	87,398
Meter Bill	74,898	81,318	65,630	65,358
PV Capacity	0.032	0.039	0.032	0.045

표 4. 계시별 요금제 도입 전 후 대조군과 처치군의 기술통계량 비교

한편, 대조군의 전체 소비량이 더 큰 폭으로 감소했음에도 불구하고, 처치군의 전기 요금 감소율이 더 크게 나타났다. 이는 계시별 요금제 도입이 단위 사용량 당 전기요금의 전반적인 인하 효과를 가져왔음을 의미한다.

다음 장에서는 전력 사용량이 아닌 사용량 비율을 종속 변수로 설정하여, 계시별 요금제 도입이 수요 평탄화에 기여했는지 분석하는 이중차분 분석을 수행한다.

#### 4.2.2. 이중차분법: 계시별 요금제 도입 후 중부하 및 고부하 사용 비중 변화 분석

모델 (1)에서는 시간당 전력 사용량을 종속 변수로 설정하여 분석을 수행한 반면, 이번 모델에서는 계시별 요금제가 수요 평탄화에 미친 영향을 평가하기 위해 상대적 사용량, 즉 사용 비율을 종속 변수로 설정하였다. 계시별 요금제 하에서는 같은 단위 가격을 적용받는 동일한 시간대가 짧게는 6시간, 길게는 10시간 지속되며, 각 부하 구간 사이의 수요 이전에 대한 유인을 제공한다. 따라서, 시간별 사용량의 변화를 분석하는 것만으로는 수요 평탄화 효과를 충분히 파악하기 어렵다. 따라서 본 분석에서는 각 시간대의 사용량을 경부하 구간의 사용량과 비교한 비율을 종속 변수로 설정하였다( $= \frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{off}}$ ). 여기서 'off'는 경부하 구간을,  $n$ 은 분석 대상이 되는 특정 시간대를 의미하며, 중부하(mid) 또는 고부하 구간(peak)을 나타낸다. 종속 변수를 사용 비중으로 하는 분석 모델은 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{off}}\right) = \beta_n + \sum_n \gamma_n \cdot Period_n \cdot Treat_i \cdot Post_d + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,n,d} \quad (2)$$

$$\ln\left(\frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{off}}\right) = \beta_n + \sum_n \sum_{q=1}^5 \gamma_{n,q} \cdot Period_n \cdot Treat_i \cdot Quarter_q + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,n,d} \quad (3)$$

모델 (3)에서는 모델 (2)에서 사용된 처치 이후 구간을 나타내는 더미 변수  $Post_d$  를 다섯 개의 분기로 세분화하여 분석하였다. 이 변수는 날짜  $d$ 가 계시별 요금제 도입 이후 ( $q-1$ ) 분기 이후 부터  $q$  분기 이내에 속할 경우 1, 그렇지 않으면 0이 된다. 이를 통해 계시별 요금제 도입 이후 사용량 비율 변화가 시간이 흐름에 따라 어떻게 조정되는지를 분석하였다.

그림 4는 모델 (3)의 분석 결과를 시각화한 것으로, 계시별 요금제 도입 이후 모든 분기에서 사용량 비율이 감소하며, 각 분기별 사용량 비율의 변화가 음(-)의 값을 보였다. 이는 계시별 요금제 도입이 전반적인 수요 평탄화 효과를 유도했음을 시사한다. 다만, 95% 신뢰구간 기준으로 첫 번째, 다섯 번째 분기의 고부하 구간에서는 통계적으로 유의미한 결과가 도출되

지 않았다.

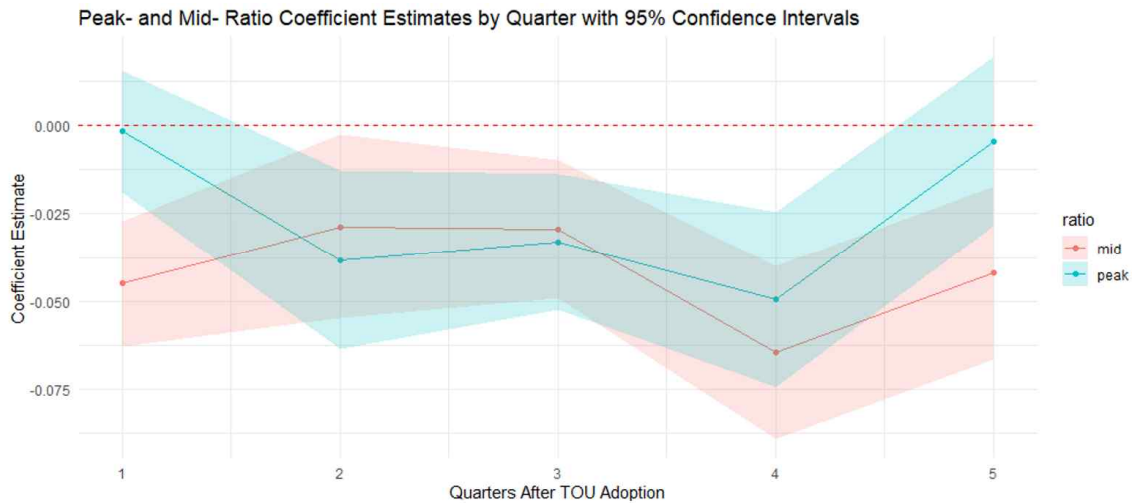


그림 4. 계시별 요금제 도입 이후 분기별 사용량 비중 변화

그러나, 표 4의 평균 통계를 비교한 결과, 계시별 요금제 도입 이후 평균 단위 전기 요금 (KRW/kWh)이 감소한 것으로 나타났다. 이는 계시별 요금제 도입이 전력 소비 패턴뿐만 아니라 한계가격 저하에도 영향을 미친 것을 의미한다. 모델 (1)과 (2)의 이중차분법은 계시별 요금제 도입이 일으킨 변화를 관찰하는데는 적절하지만, 분석 결과 관찰된 효과를 발생시킨 구체적인 가격 효과의 구조를 파악하는 데에는 한계가 있다. 따라서 계시별 요금제의 영향을 보다 정확히 이해하기 위해, 다음 장의 분석을 다음과 같이 두 단계로 나누어 수행하였다.

i) 하루 중 가격 효과(Within-day effect): 계시별 요금제의 하루 중 단위 요금 차등화로 인해 고부하 구간 및 중부하 구간의 사용량 비율이 어떻게 변화하는지 분석하여 하루 중 수요 이전 효과를 파악한다. 이때 종속 변수는 모델 (2), 모델(3)과 마찬가지로 경부하 구간 사용량 대비 고부하 및 중부하 구간의 사용량 비율이 된다.

ii) 일별 가격 효과(Daily effect): 계시별 요금제 도입 이후 일별 한계 가격 변화가 하루 사용량의 증감에 미치는 영향을 분석한다. 이 때 하루 사용량을 종속 변수로 한다.

이러한 접근 방식을 통해, 계시별 요금제 도입이 전력 소비 패턴을 변화시킨 두 종류의 가격효과, 즉 하루 중 수요 이전 효과와 일일 사용량 증감 효과를 보다 정밀하게 분석할 수 있다.

#### 4.2.3. 수요 모형 1단계: 하루 중 가격 효과

계시별 요금제의 효과를 분석하기 위해, 본 연구에서는 Hausman et al. (1979)의 2단계 전력 수요 모형을 따른다. Hausman et al. (1979)은 계시별 요금제의 효과를 두 가지로 구분하여 각각의 효과를 독립적으로 분석하였다. 먼저, 하루 내 효과를 관찰하기 위한 1단계 모델은 다음과 같다.

$$\frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{base}} = \sum_k^{N-1} \beta_k^n \cdot \frac{P_{i,d}^k}{P_{i,d}^{base}} + \gamma_1^n X_{i,d} + \gamma_2^n \frac{P_{i,d}^k}{P_{i,d}^{off}} \cdot X_{i,d} + \epsilon_{i,d}^n \quad (4)$$

Hausman et al. (1979)은 하루를 총  $N$ 개의 구간(period)으로 나누고, 각각의 구간  $n$ 을 분석 대상으로 설정한다( $n=1,2,\dots,N$ ). 단위 요금 변화와 관계없이 비교적 사용량이 일정한 구간을 기준 구간으로 설정한 후, 각 시간대의 소비량을 기준 구간의 사용량과 비교한 비율을 종속 변수로 사용한다. 이를 통해 계시별 요금제 도입 이후 하루 중 서로 다른 시간대에서의 상대적 사용량 변화 양상을 분석할 수 있다. 각 시간대의 사용량 비율 변화는 해당 시간대의 단위 요금 변화(Own-price effect)뿐만 아니라 다른 시간대의 단위 요금 변화(Cross-price effect)에게도 영향을 받기 때문에, 독립 변수는 기준 구간의 단위 요금 대비 각 구간의 단위

요금 비율로 설정하였다  $\left( \frac{P_{i,d}^1}{P_{i,d}^{base}}, \frac{P_{i,d}^2}{P_{i,d}^{base}}, \dots, \frac{P_{i,d}^{N-1}}{P_{i,d}^{base}} \right)$ .  $X$ 는 날씨, 사회경제적 특성(예: 소득, 가구원 수), 주요 전자기기(예: 전기난방기, 냉장고) 등의 통제 변수를 포함한다.  $\gamma^n$ 은  $n$ 번째 구간의 단위 요금 비율의 계수를 나타낸다. 마지막으로, 통제 변수와 단위 요금 비율 간 상호작용을 나타내는 항과 오차항으로 모델이 구성된다.

본 연구에서는 Hausman et al.(1979)와 달리, 통제 변수 대신 고정 효과를 적용하였다. 우선, 가구별로 사회경제적 특성이 시간의 흐름과 관계없이 일정하다고 가정, 가구별 고정 효과를 적용하였다. 또한, 날씨 변수 또한 하루 중 변화 없이 일정하다고 가정하여 일별 고정 효과를 적용하였다. 그러나 태양광 발전 시스템(PV)이 설치된 가구의 경우, 발전량이 전력 사용량에서 차감되며, 특정 시간대에만 소비 패턴에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 계시별 요금제의 하루 중 효과를 명확하게 분석하기 위해 PV 설치 여부를 통제 변수로 포함하였다. 즉  $X$ 는 다양한 통제 변수를 포함할 수 있으나, PV 설치 여부만을 통제 변수로 사용하고, 본 연구에서는 고정 효과를 적용하였다. 또한, 종속 변수의 분포가 우측으로 치우친 형태를 보였기 때문에 로그 변환을 적용하여 정규성을 확보하였다.

Hausman et al. (1979)의 원래 모형은 Own-price effect와 Cross-price effect를 모두 분석하는 것이 목적이었으나, 본 연구에서는 고부하 및 중부하 구간의 단위 요금이 모든 가격 변경 시점에서 동일한 방향으로 변하기 때문에 Cross-price effect를 분석할만큼 충분한 변동성을 갖지 않는다. 기본 모형과 상호작용 효과를 포함한 확장 모형은 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{off}}\right) = \beta_1 \frac{P_{i,d}^n}{P_{i,d}^{off}} + \gamma_1 PV_{i,d} + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,d}^n \quad (5)$$

$$\ln\left(\frac{Use_{i,d}^n}{Use_{i,d}^{off}}\right) = \beta_1 \frac{P_{i,d}^n}{P_{i,d}^{off}} + \gamma_1 PV_{i,d} + \gamma_2 PV_{i,d} \cdot \frac{P_{i,d}^n}{P_{i,d}^{off}} + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,d}^n \quad (6)$$

모델 (6)은 모델 (5)에 상호작용 효과를 추가한 형태이다. 현재 계시별 요금제는 고부하, 중부하, 경부하 구간(N=3)으로 구분되므로, 본 연구에서는 경부하 구간을 기준 구간으로 설정하였다. 따라서 종속 변수는 고부하 사용량 비율과 중부하 사용량 비율의 로그 값이며, 독립 변수는 각각 고부하 및 중부하 구간의 단위 요금을 경부하 구간의 단위 요금으로 나눈 값이다. 본 회귀 분석을 통해, 계시별 요금제 도입 이후 서로 다른 시간대에서의 사용 비율 변화가 어떻게 나타나는지 확인할 수 있다.

#### 4.2.4. 수요 모형 2단계: 일별 가격 효과

계시별 요금제 도입의 또 다른 중요한 측면은 시간대별 단위 요금의 차별화뿐만 아니라, 사용자들이 기존 요금제에서 계시별 요금제로 전환하면서 전체적인 전기요금 구조의 변화를 겪는다는 점이다. 즉, 가구들은 기존 소비 경향이나 제약이 전혀 없는 상태에서 계시별 요금제를 도입하는 것이 아니라, 기존 요금제에서 계시별 요금제로 갈아타면서 전력 소비 행태를 조정하게 된다. 기존의 누진요금제에서 계시별 요금제 도입 전후로 전기 사용에 대한 일별 단위 가격이 변화하며, 이러한 변화가 일일 전기 사용량에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 이를 분석하기 위해, 본 연구에서는 Hausman et al. (1979) 전력 수요 모형의 두 번째 단계 모형을 활용하였다.

$$Use_{i,d} = \beta \bar{P} + \gamma_1 X_{i,d} + \gamma_2 \bar{P} \cdot X_{i,d} + \epsilon_{i,d} \quad (7)$$

이 때 계시별 요금제 하에서 일별 한계 가격을 계산하는 것이 중요한데, Hausman et al. (1979)에 따르면, 이는 각 구간별 전기 소비의 비용을 고려한 일별 수요 가중 평균 가격에 해당한다. 따라서 계시별 요금제의 일별 한계 가격 추정값은 1단계 회귀 분석 결과를 활용하여

다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{P} = \frac{\sum_n P^n \cdot Use^n}{\sum_n Use^n} = \frac{\sum_n P^n \cdot \frac{Use^n}{Use^{oIT}}}{\sum_n \frac{Use^n}{Use^{oIT}}} = \frac{\sum_n P^n (\theta_n + \sum_{m=1}^{N-1} \alpha_{mn} \cdot \frac{P^m}{P^{oIT}})}{\sum_n (\theta_n + \sum_{m=1}^{N-1} \alpha_{mn} \cdot \frac{P^m}{P^{oIT}}} = \frac{\sum_n P^n \cdot \exp(\ln \frac{Use^n}{Use^{oIT}})}{\sum_n \exp(\ln \frac{Use^n}{Use^{oIT}})} \quad (8)$$

그러나 누진요금제의 경우에는 다른 접근 방식이 필요하다. 누진요금제에서는 하루 중 단위 전기 가격이 일정하게 유지되므로, 일별 단위 전기 가격은 해당 월 내의 사용량에 따라 누진 단계별로 특정한 단위 가격을 갖는데, 여기서 가격이 사용량에 의해 결정되는 내생성 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 Hausman et al. (1979)는 도구변수를 도입하여 예산 제약을 선형화하고 내생성 문제를 극복하였다. 이 때 일별 한계 가격의 첫 번째 도구 변수로 최종 월 사용량이 속하는 누진 단계의 예측 한계 가격을 활용한다. 이와 함께, 최종 단계의 단위 가격에 한 달 중 거쳐 온 이전 단계의 단위 가격들은 적용되지 않으므로, 보다 정확한 일별 한계 가격 대체를 위하여 예산 사용을 선형화하고자 'Lumpsum'('최종 단계의 단위 가격 \* 월 사용량' - '월 요금')을 추가적인 도구 변수로 활용한다. 그림 5 에서 볼 수 있듯이, 사용량이 증가하면서 단위 가격이 비선형적으로 변할 때,  $\hat{y}_2 - y_1$  (또는 최종 단계가 3일 경우  $\hat{y}_3 - y_1$ )을 가용 예산에 추가함으로써 예산 사용을 선형화한다. 이 도구 변수는 최종 월 사용량에 의해 결정되고 일일 사용량에는 영향을 받지 않으므로, 내생성을 가지고 있는 일별 전기 가격을 대체하여 도구 변수로 활용될 수 있다.

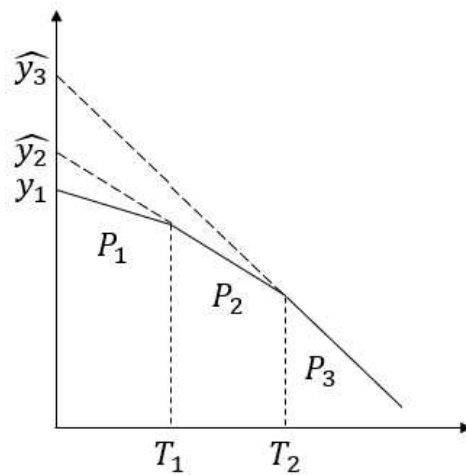


그림 5. 누진요금제 단계별 예산 선형화

이 도구 변수 '월 예측 한계 가격'과 'Lumpsum'은 일반적인 2단계 최소 자승법

(Two-Stage Least Squares)을 통해 도구 변수를 활용하여 원래의 가격 지수를 추정하는 방식으로 사용되는 대신, 모델에 직접 사용된다(Hausman et al., 1979). 일별 효과를 분석하기 위한 모델은 다음과 같다.

$$Use_{i,d} = P(\beta_1 + \beta_2 Treat_i + \beta_3 Treat_i \cdot Post_d) + \beta_4 Lumpsum + \alpha_i + \delta_d + \epsilon_{i,d} \quad (9)$$

TOU 도입 이후 일별 한계 가격에 대한 효과가 변화하는지를 조사하기 위해  $Treat_i$  더미 변수와  $Post_d$  더미 변수를 사용할 수 있다. 이를 통해 도입 전후로 대조군 대비 처치군의 가격 변화에 따른 효과를 보다 정밀하게 분석할 수 있다.

## 5. 결과

### 5.1. 패널 회귀 분석 1: 하루 중 가격 효과

계시별 요금제 도입은 전기 사용 시의 단위 가격이 하루 중 부하 구간에 따라 차별화되는 것을 의미한다. 누진요금제 하에서는 하루 중 단위 가격 변화가 없으므로, 모든 가격의 비율이 1과 같다. 이후 처치군에 한하여 계시별 요금제가 시행되면서, 중부하 구간의 가격 비율은 경부하 구간의 단위 가격 대비 비율이 1.24 ~ 1.41로 증가했으며, 고부하 구간의 가격 비율은 1.39 ~ 1.73으로 증가했다. Model (5) 및 Model (6)을 사용한 회귀 분석을 통해 계시별 요금제 도입 이후의 하루 중 가격 효과를 관찰하였으며, 그 결과는 표 5와 같다.

	Mid-peak Period		Peak Period	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Price Ratio	0.113*** (0.021)	-0.117*** (0.021)	-0.054*** (0.021)	-0.055*** (0.011)
PV Capacity	-0.154* (0.054)	-0.245** (0.075)	-0.087* (0.040)	0.066 (0.042)
Price Ratio*PV Capacity		0.091* (0.052)		0.020* (0.011)
Date FE	Y	Y	Y	Y
HH FE	Y	Y	Y	Y
R-square	0.327	0.327	0.273	0.273
Adjusted R-square	0.325	0.325	0.271	0.271
Residual Std. Error	0.370	0.370	0.339	0.339
df	1,071,217	1,071,216	1,071,217	1,071,216
Number of observations	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482
Notes: Standard errors in parentheses clustered at household-year-month level; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.				

표 5. 계시별 요금제 도입 시 하루 중 가격 효과

표 5는 고부하 구간 및 중부하 구간의 경부하 구간 대비 단위 가격 비율이 증가할수록 고부하 및 중부하 구간의 사용 비율이 감소함을 보여준다. 이는 해당 구간 내에서 전기 사용 시 타 구간 대비 상대적인 비용이 증가할수록 사용량이 감소하는 Own-price effect를 잘 나타낸다.

분석 결과, 하루 중 가격 효과는 구간별 사용량의 간극을 좁히는 결과를 보였다. 중부하 및 고부하 구간에서 관찰된 구간별 가격 비율 증가에 대한 유의미한 (-) 방향의 가격 효과는 고부하 구간의 경부하 구간 사용량 대비 사용량 비율의 감소로(봄과 가을에 약 2.3%, 여름과 겨울에 약 3.6%) 이어졌다. 중부하 구간에서는 봄과 가을에 약 2.9%, 여름과 겨울에는 약 4.3%

감소하는 것으로 나타났다.

태양광 발전 시스템 설치 여부와의 상호작용 효과를 고려한 고부하 구간 모델을 제외한 모든 분석 모델에서, 태양광 발전 시스템 설치 가구는 고부하 및 중부하 구간의 사용량 비율 변화가 비설치 가구보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 태양광 발전으로 생성된 전력이 주로 낮 시간대의 사용량을 상쇄하므로, 특히 중부하 구간에서 사용량 상쇄로 인한 구간의 사용 비율 감소와 같은 현상이 두드러지게 나타나고, 일부는 경부하 및 고부하 구간에도 영향을 미친다는 것을 시사한다.

그림 6은 중부하 및 고부하 기간에 대해, 가격 비율이 사용 비율에 미치는 계수 값을 상호작용을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우(공분산을 0으로 가정)로 나누어 나타낸다. 그림 6에 따르면, 태양광 발전 시스템을 설치하지 않은 경우 가격 효과가 태양광 발전 시스템 설치 여부를 고려하지 않았을 때의 가격 효과와 유사한 반면, 태양광 발전 시스템을 설치한 가구의 가격 효과는 더 이상 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 이미 태양광 발전으로 인한 상쇄가 이루어지고 있어 가격 변화에 따른 유의미한 반응이 나타나지 않았다.

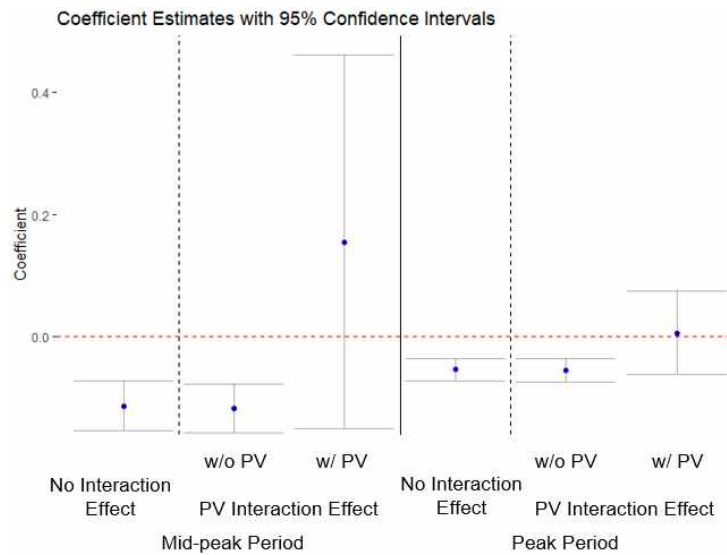


그림 6. 태양광 발전 시스템 보유 여부에 따른 중부하 및 고부하 구간의 가격 비율 변화에 대한 사용량 비율 변화 비교

## 5.2. 패널 회귀 분석 2: 일별 가격 효과

표 6은 Model (9)을 기반으로 일별 가격 효과를 분석한 결과를 제시한다. Model (9)는 가구별 고정 효과와 일별 고정 효과를 통제한 반면, 표 6에서는 세 가지 다른 조합의 고정 효과

를 검토한다. 표 6의 두 번째 모델을 제외하면, 모든 모델에서 대조군과 처치군 모두에 대해 일별 한계 가격에 대하여 유의미하게 음의 방향으로 가격 효과가 일관되게 나타났다. 그러나 보다 상세하게 계시별 요금제 시행 전후로 가격 효과를 구분하여 분석한 결과, 일별 및 처치군-대조군 구분 고정 효과(Date\*Treat) 및 가구별 및 연월별 고정 효과를 (Household-Year-Month) 적용한 아홉 번째 모델에서만 일별 한계 가격에 대한 음의 방향의 가격 효과가 관찰되었다. 계시별 요금제가 도입되면서 처치군은 계시별 요금제를 사용하게 되었으므로, 누진요금제 하에서 사용되던 도구 변수 중 Lumpsum의 값은 0이 적용된다. 따라서, 다른 고정 효과들은 이전에 도구 변수가 통제하던 값을 완전히 설명할 수 없었으나, Date\*Treat 고정 효과만이 이를 효과적으로 설명한 것으로 보인다.

	Model Specifications								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Price	-0.012***	-0.001	-0.023***	-0.013**	-0.013**	-0.013**	-0.014***	-0.013**	-0.014***
	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)
Price*Treat		-0.037***	0.008***						0.001
		(0.001)	(0.001)						(0.001)
Price*Treat*Post			0.051***						-0.059
			(0.001)						(0.234)
Lump-sum	0.050***	0.090***	0.141***	0.054***	0.054***	0.054***	0.057***	0.057***	0.057***
	(0.005)	(0.004)	(0.005)	(0.004)	(0.004)	(0.004)	(0.004)	(0.004)	(0.004)
HH FE	Y	Y	Y						
Date FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y			
HH*Year*Month FE				Y	Y	Y	Y	Y	Y
Date*Treat FE							Y	Y	Y
R-square	0.495	0.521	0.555	0.717	0.717	0.717	0.718	0.718	0.718
Adjusted R-square	0.494	0.520	0.554	0.717	0.717	0.717	0.718	0.718	0.718
Residual standard error	4.069	3.961	3.821	3.101	3.101	3.101	3.096	3.096	3.096
DF	1,071,217	1,071,216	1,071,215	1,033,423	1,033,422	1,033,421	1,032,465	1,032,464	1,032,463
Number of observations	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482	1,073,482
Notes: Standard errors in parentheses clustered at household-year-month level: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.									

표 6. 계시별 요금제 도입의 일별 가격 효과

분석 결과, 계시별 요금제 도입은 평균적인 일일 사용량과 평균적인 일별 가격을 가진 가구의 일일 사용량을 9.7% 증가시키는 것으로 나타났다. 표 6의 아홉 번째 모델의 결과에 따르면, 대조군과 처치군 모두 가격 인상에 대하여 사용량이 감소하는 음의 가격 효과를 보였으나, 일별 한계 가격 및 계시별 요금제 도입 자체가 처치군의 가격 변화에 따른 사용량 변화의 폭이 달라지지 않는 않았다. 즉, 계시별 요금제 도입 여부와 관계없이 가격 효과가 크게 다르지 않다면, 전환 이전 기간의 처치군 평균 가격이(281.9 KRW/kWh) 전환 이후 처치군 평균 가격으로(169.2 KRW/kWh) 감소할 경우, 처치군 가구의 일일 전력 사용량은 약 1.6 kWh 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 TOU 도입 이전, 처리 그룹의 평균 일일 사용량의 약 9.7% 증가에 해당한다.

계시별 요금제 도입의 일별 가격 효과는 가격 차이가 클수록 더 커졌다. 이는 이중차분법 분석 결과와 일치하며, 결국 하루 중 가격 효과를 상쇄하여 모든 시간대에서 사용량이 증가하는 경향을 보였다. 누진요금제 하에서 한계 가격의 도구 변수로 가장 자주 할당된 누진 단계는 세 번째 단계로, 대체로 가장 높은 단위 가격을 적용을 받은 셈이다. 반면, 계시별 요금제의 일별 한계 가격은 이보다 훨씬 낮았다. 일별 한계 가격은 계시별 요금제의 단위 가격 구간 사이에 위치하므로, 누진요금제의 가장 높은 단위 가격보다 낮게 형성될 수밖에 없었고, 결국 계시별 요금제 도입 전후로 일별 한계 가격이 크게 하락하는 결과를 초래하였다.

### 5.3. 가격 효과의 이질성

#### 5.3.1. 패널 회귀 분석 3: 사용량 그룹별 이질성

계시별 요금제 하에서 일별 한계 가격은 가장 높은 단위 가격인 고부하 구간의 단위 가격과 경부하 구간의 단위 가격 사이에서 결정된다. 두 단위 가격 모두 누진요금제의 세 번째 단계보다 낮기 때문에, 이전까지 누진요금제의 세 번째 단계를 적용받던 가구들은 구간별 사용량 간에 별다른 조정이 없더라도 한계 가격 감소 효과를 경험하게 된다.

Price	Control Group		Treatment Group	
	Pre-Treatment	Post-Treatment	Pre-Treatment	Post-Treatment
Low (Tier 1)	122.6	145.2	188.5	170.3
Medium (Tier 2)	225.3	230.7	255.5	255.5
High (Tier 3)	255.5	278.9	300.2	169.2

표 7. 계시별 요금제 도입 전후 대조군과 처치군의 평균 일별 가격

표 7은 계시별 요금제 도입 전후 대조군과 처치군의 일별 가격 평균값을 소비 수준별로 나

타낸다. 가구가 어느 소비 수준에 속하는지 판단하기 위해, 처치 이전 기간 동안 가장 '자주' 도달한 요금 단계를 기준으로 하였다. 먼저 가장 자주 도달한 누진 요금 단계가 1단계이면 전력 소비 수준이 '낮은' 그룹(Low), 2단계이면 '중간' 그룹(Medium), 3단계이면 '높은' 그룹으로(High) 분류하였다.

계시별 요금제를 도입한 가구 중, 중간 및 높은 소비 수준에서 계시별 요금제 도입 전후 기간의 일별 평균 가격 차이가 두드러진다. 특히, 소비 수준이 높은 그룹에서의 일별 평균 가격 차이는 소비 수준이 중간인 그룹의 1.6배에 달한다. 이는 현재 높은 소비 수준 가구에 집중된 분포를 보다 균형 있게 조정하여, 낮은 혹은 중간 소비 수준 가구의 참여를 확대한다면 일별 평균 가격의 차이가 줄어들므로, 이를 통해 처치 이전 기간의 일별 가격이 하락하고 처치 이후 기간의 일별 가격의 낙폭을 완화할 수 있음을 시사한다. 대조군은 처치를 받지 않았으므로, 계시별 요금제 도입 시점 전후로 일별 평균 가격의 변화가 크지 않았다. 향후 계시별 요금제 설계 시 소비 수준이 낮은, 혹은 중간 그룹에게 유인을 제공하여 해당 그룹들의 비중을 늘릴 수 있다면, 계시별 요금제 도입 전후 일별 평균 가격의 격차를 줄임으로써 일별 가격 효과로 인한 사용량 상승을 낮출 수 있을 것이다.

본 장에서는 Model (9)에 소비 수준과 가격 비율의 상호작용 효과를 추가하여 소비 수준별로 가격 효과의 이질성을 분석하였으며, 결과는 표 8과 같다. 분석 결과, 낮은 소비 수준과 높은 소비 수준 그룹이 가격의 변화에 유의미하게 사용량이 변화하였다.

	Daily Usage
Price	-0.007*
	(0.003)
Price: Medium	-0.005
	(0.003)
Price: High	-0.007**
	(0.003)
Lumpsum	0.054***
	(0.004)
HH*Year*Month FE	Y
Date FE	Y
Residual standard error	3,101
DF	1,033,421
R-squared	0.717
Adjusted R-squared	0.706
Number of observations	1,073,482
Notes: Standard errors in parentheses clustered at household-year-month level; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.	

표 8. 소비 수준별 일별 가격 효과의 이질성 분석

### 5.3.2. 패널 회귀 분석 4: 태양광 발전 시스템 설치 여부에 따른 가격 효과의 이질성

계시별 요금제의 도입 시, 가정용 태양광 발전 시스템을 보유한 가구에서는 보유하지 않은 가구와는 상이한 반응을 보일 수 있다. 한국의 경우, 가정용 태양광 발전량은 별도로 집계되지 않고, 가정의 전력량계에서 상계된다. 즉, 전력 소비와 태양광 발전량이 별도로 계량되지 않고, 전체 전력사용량에 (-)값으로 포함된다. 즉, 가정의 소비량이 태양광 발전량을 초과하면 태양광 발전량을 차감한 순 소비량이 기록되며, 반대로 태양광 발전량이 소비량을 초과하면 소비량을 차감한 초과 발전량이 별도로 기록된다. 기록된 초과발전량은 이후 월 요금 정산 시 넷 미터링(Net-Metering) 방식으로 전체 월 사용량을 차감하는 형식으로 정산된다. 따라서, 태양광 발전 시스템 설치 가구에서 중부하 구간 및 고부하 구간 전력 사용량이 감소할 경우는 실제 전력 소비량 감소가 아니라, 태양광 발전량이 사용량에서 차감된 결과일 가능성이 크다.

Model (9)에 가정용 태양광 발전 시스템 설치 여부와 계시별 요금제의 일별 가격 효과간 상호작용 효과를 포함한 회귀 분석 결과는 표 9와 같다. 분석 결과, 태양광 발전 시스템을 보유한 가구는 가격 변화에 대한 사용량 변화가 시스템을 보유하지 않은 가구보다 낮은 것으로 나타났다. 이러한 가격 효과의 감소는 태양광 발전 시스템이 제공하는 발전량 상계에 따른 비용 절감 효과를 이미 해당 가구가 누리고 있으므로, 계시별 요금제 도입으로 인한 가격 변동에 덜 민감하게 반응하기 때문으로 해석할 수 있다. 또한, 분석 결과는 앞선 하루 중 가격 효과의 분석 결과와 궤를 같이 한다. 즉, 태양광 발전 시스템 보유 시 가격 비율의 변화가 사용량 비율에 미치는 효과가 유의하지 않았던 이유 또한, 태양광 발전 시스템 설치 가구가 가격 비율 상승에 대해 유의한 반응을 보이지 않았기 때문으로 추론해 볼 수 있다.

	Daily Usage
Price	-0.013*** (0.002)
Price:PV	0.004* (0.002)
Lumpsum	0.054*** (0.004)
Residual standard error	3.101
Degrees of freedom	1,033,422
R-squared	0.717
Adjusted R-squared	0.706
Observations	1,073,482
Notes: Standard errors in parentheses clustered at household-year-month level; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.	

표 9. 태양광 발전 시스템 보유 여부에 따른 일별 가격 효과의 이질성 분석

## 6. 토의

주거용 계시별 요금제의 도입은 수요 평탄화에 기여한다. 경부하 구간과 비교했을 때, 중부하 및 고부하 구간의 사용량은 계시별 요금제의 차등화된 단가에 유의하게 반응하였으며, 이는 중부하 사용량 비율과 고부하 사용량 비율의 감소로 이어졌다. 여기서 중부하 사용량 비율과 고부하 사용량 비율은 각각 중부하 및 고부하 구간 사용량을 경부하 구간 사용량으로 나눈 값이다.

또한, 계시별 요금제의 하루 중 효과는 일시적인 현상이 아닌 지속적인 현상으로, 계시별 요금제 도입 이후 5분기 분기 동안 지속적으로 사용 비율 감소가 관찰되었다. 이러한 하루 중 효과는 변동성이 큰 재생에너지원이 통합된 전력 시스템의 하루 중 전력사용량 수급 안정화에 기여할 수 있다. 이는 계시별 요금제 도입의 핵심 목표이기도 한데, 계시별 요금제는 사용량 제어에 목표를 두는 누진요금제와 달리, 에너지 전환을 위한 수요 관리 전략으로써, 수요 평탄화 자체에 초점을 둔다.

그러나 계시별 요금제 도입을 통해 일군 하루 중 수요 평탄화에도 불구하고, 계시별 요금제를 채택한 대부분의 가구는 일별 한계 가격이 감소하면서 전체 일일 사용량이 증가하는 현상이 발생했다. 이러한 의도치 않은 결과는 기존의 수요 평탄화 효과를 상쇄하며, 하루 중 모든 시간대에서 절대적인 사용량 증가를 초래하였다. 계시별 요금제 도입 전후 일별 한계 가격의 평균 감소율은 약 40%에 육박하는 것으로 나타났으며, 그에 따른 일일 사용량 증가폭은 평균 1.6kWh, 평균 일일 사용량의 약 9.7%에 해당한다.

전반적인 일별 한계 가격의 감소는 계시별 요금제의 선택적 도입의 결과에 해당한다. 계시별 요금제 도입 가구는 전력사용량이 높은 가구에 편향되는 경향을 보이며, 계시별 요금제의 일별 한계 가격은 누진요금제의 1단계보다 높고, 2단계와 유사한 수준에서 변동하며, 3단계보다는 낮다. 이로 인해, 계시별 요금제는 비용 측면에서 소비 수준이 높은 가구에 유리하게 작용, 이들의 계시별 요금제 선택이 주를 이룬 결과 계시별 요금제의 도입이 곧 전체적인 한계 가격을 낮추는 효과를 가져왔다. 이러한 선택적 도입 현상은 높은 기본 요금, 낮은 단위 요금, 그리고 공급자의 미디어 홍보에 영향을 받았다. 반면, 계시별 요금제 도입 이전에 진행된 시범사업에서는 계시별 요금제를 적용받은 가구들이 고사용량 가구에 편향되지 않았으며, 그 결과 계시별 요금제 도입 시 고부하 구간 사용량의 감소가 관찰되었다. 당시 시범 사업의 처치군과 대조군의 평균 사용량은 제주 지역의 평균 가구 사용량과 유사한 수준이었다(Kim et al., 2022).

이러한 결과는 계시별 요금제 도입 시 고객이 자발적으로 선택하는 'Opt-in' 시스템의 특성을 고려해야 할 필요성을 시사한다. 계시별 요금제는 시간대별 가격 차별화를 통해 수요 이동을 유도하지만, 기존 요금제와의 가격의 균형을 유지하지 않으면 수요 이동 효과가 상쇄될 수 있다. 따라서, 자발적 선택 시스템에서는 하루 중 가격 효과 및 일별 가격 효과가 어떻게 발생하는지를 면밀히 분석하고, 기존 요금제와 연계하여 적절한 계시별 요금제 구조를 설계해야 한다. 특히, 중간 및 낮은 소비 수준을 갖는 가구를 대상으로 유인할 수 있는 계시별 요금 구조를 제공함으로써 다양한 사용 수준을 가진 가구들의 계시별 요금제 도입을 유도하는 것이 효과적인 전략이 될 수 있다. 보다 많은 중간 및 낮은 소비 수준을 갖는 가구들을 계시별 요금제에 포함할 수 있을 경우, 전체적인 한계 가격 하락 폭이 감소할 것으로 전망된다.

또한, 태양광 발전 시스템을 보유한 가구는 일별 가격의 변화에 대한 사용량의 변화가 적은 것으로 나타났으며, 이는 태양광 발전 시스템이 제공하는 비용 절감 효과를 이미 누리고 있기 때문에 상대적으로 일별 가격 변화에 대한 반응이 낮은 것으로 해석할 수 있다. 반면, 태양광 발전 시스템 보유 가구의 하루 중 가격 효과는 구간별로 상이한 결과를 보였다. 본 연구에서는 계시별 요금제 도입 이후 태양광 발전 시스템을 추가 설치한 가구를 제외하였으나, 향후 연구에서는 계시별 요금제 도입과 태양광 발전 시스템 간의 상호작용을 보다 심층적으로 탐구할 필요가 있다. 계시별 요금제와 가정용 태양광 발전 시스템은 가정 소비자의 에너지 전환 기여를 결정짓는 중요한 요소이므로, 두 요인의 상관관계 및 상호작용을 분석하는 것이 의미 있을 것이다.

결론적으로, 다양한 소비 패턴과 사용량 수준을 고려한 계시별 요금제를 도입하면 수요 이동 효과를 최적화할 수 있다. 이러한 접근 방식은 공급자와 소비자 모두에게 이익이 될 뿐만 아니라, 공급과 수요의 균형을 유지하며 변동성 재생에너지 기반 전력 시스템을 안정화하는데 기여한다.

## 7. 결론

수요 관리는 전통적으로 첨두 부하 감소에 초점을 맞추어 왔다. 그러나 현재의 계시별 요금제는 재생에너지가 통합된 전력 시스템의 공급 특성에 맞춰 수요를 관리하기 위해 가격 신호를 제공하는 측면에서 각광받고 있다. 즉, 재생에너지 통합을 촉진하고 에너지 전환을 달성하는 것이 수요 관리의 핵심 목표가 되고 있다. 본 연구는 계시별 요금제의 가격 효과를 두 단계에 걸쳐 분석하였다.

첫째, 하루 중 사용 패턴의 변화를 살펴보았으며, 둘째, 일별 가격의 변화가 일일 사용량에 미치는 영향을 관찰하였다. 분석 결과, 일별 가격 변화로 인한 전체적인 일일 사용량 증가가 고부하 및 중부하 구간에서 경부하 구간으로의 수요 이전 효과를 상쇄하여, 결과적으로 모든 기간에서 사용량이 증가하는 현상이 관찰되었다. 현재 계시별 요금제는 모든 사용자를 대상으로 설계된 것이 아니라 자발적으로 선택하는 방식으로 운영되며, 이에 따라 계시별 요금제 사용자 집단이 고사용량 가구에 집중되는 경향을 보인다. 이러한 선택적 도입은 일별 가격 효과를 크게 유발하여, 결국 수요 이전 효과를 압도하는 결과를 초래하였다.

향후 계시별 요금제의 효과를 극대화하기 위해서는 다양한 사용 수준의 소비자가 계시별 요금제를 선택할 수 있도록 요금 구조를 설계하는 것이 필수적이다. 이러한 접근은 한계 가격 감소 폭을 줄이고, 일별 가격 효과를 완화하는 데 기여할 수 있다.

다만 본 연구는 자발적 선택 방식의 계시별 요금제를 분석 대상으로 삼았기 때문에 처치군이 제주도의 모든 가구들을 대표하기에는 한계가 있다. 전술한 바와 같이 계시별 요금제 도입 가구는 고사용량 가구에 편향되는 경향을 보였으며, 연구에서는 유사한 분포를 가진 대조군을 선정하여 비교 분석하였다. 향후 연구에서는 보다 대표성을 가진 분포를 가진 표본을 활용하거나, 자발적 선택 이외의 방식으로 계시별 요금제가 도입되는 시나리오를 검토할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 계시별 요금제 도입 이후 적용되는 기간을 분기별로 나누어, 각 분기의 고부하 및 중부하 사용 비율을 분석하였다. 분석 결과, 사용 비율 감소는 전반적으로 안정적으로 유지되었으나, 일부 기간에서는 통계적으로 유의하지 않았다. 향후 연구에서는 보다 장기적인 분석을 통해 계절적 경향 및 요금제 도입 효과의 지속성을 심층적으로 탐색할 필요가 있다. 특히, 초기 요금제 변화에 대한 반응이 시간이 지나면서 약화되는지(Backsliding Effect), 아니면 사용자가 점진적으로 학습하여 수요 이전 행태를 강화하는지(Allcott and

Rodgers, 2014; Schleich et al., 2017) 분석하는 것이 중요하다.

셋째, 본 연구는 가구의 소비 수준 및 태양광 발전 시스템 설치 여부를 기준으로 가구 특성별 가격 효과의 이질성을 분석하였다. 향후 연구에서는 계시별 요금제 하에서 다양한 소비자 특성이 가격 효과에 미치는 영향을 조사하는 것이 필요하다(Gilbert and Zibin, 2014). 특히, 계시별 요금제가 태양광 발전 시스템 도입에 미치는 영향을 심층적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 사후 기간에 태양광 발전 시스템을 신규 설치한 가구를 제외하였지만, 분석 과정에서 계시별 요금제 도입 가구들은 계시별 요금제 도입 이후 새로운 태양광 발전 시스템을 설치하지 않는 경향을 보인 반면, 계시별 요금제를 채택하지 않은 가구에서는 같은 기간 동안 태양광 발전 설비 설치 용량이 유의미하게 증가하는 현상이 관찰되었다. 이러한 결과는 기존 연구에서 계시별 요금제 도입 가구의 태양광 발전 시스템 채택률이 높게 나타난다는 연구 결과(Liang et al., 2021)와는 대조적이다. 계시별 요금제와 태양광 발전 시스템 도입 간의 관계를 파악하는 것은 중요하며, 향후 연구에서는 이 두 가지 전략이 서로 어떻게 상호작용하고 영향을 주는지에 대한 분석이 필요하다.

본 연구에서 분석한 가격 효과를 활용하여 제주도에서 현재 시행 중인 계시별 요금제 외에 다양한 계시별 요금제의 효과를 시뮬레이션해 볼 수 있다. 이러한 시도는 보다 최적화된 계시별 요금제를 설계하는 데 기여할 것이다. 특히, 소비 패턴과 사용량 수준이 다른 소비자 그룹에 맞춘 다양한 층위의 계시별 요금제를 도입하면, 수요 이전 효과를 최적화할 수 있다. 최적화된 수요 이전 효과는 공급자와 소비자 모두에게 이익이 되며, 공급과 수요의 균형을 유지하면서 변동성이 큰 재생에너지 기반 전력 시스템을 안정화하는 데 기여할 것이다. 이를 바탕으로, 계시별 요금제는 재생에너지 기반 시스템으로의 전환을 촉진하는 핵심적인 기후 변화 대응 전략으로 기능한다.

## 8. 참고문헌

Alberini, A. and C. Towe (2015). Information v. energy efficiency incentives: Evidence from residential electricity consumption in Maryland, *Energy Economics*, 52, 30-40.

Alexander, B. R. (2010). Dynamic pricing? Not so fast! A residential consumer perspective, *The Electricity Journal*, 23(6), 39-49.

Allcott, H. and Rogers, T. (2014). The Short-Run and Long-Run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation, *The American Economic Review*, 104(10), 3003-3037.

Borenstein, S. (2013). Effective and equitable adoption of opt-in residential dynamic electricity pricing, *Review of Industrial Organization*, 42, 127-160.

Burns, K. and Mountain, B. (2021). Do households respond to Time-Of-Use tariffs? Evidence from Australia, *Energy Economics*, 95, 105070.

Cappers, P., Spurlock, C. A., Todd, A., Baylis, P., Fowlie, M. and Wolfram, C. (2016). Time-of-use as a default rate for residential customers: issues and insights, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.

Choi, D. G., Lim, M. K., Murali, K. and Thomas, V. M. (2020). Why have voluntary time-of-use tariffs fallen short in the residential sector?, *Production and Operations Management*, 29(3), 617-642.

Dong, C., Ng, C. T. and Cheng, T. (2017). Electricity time-of-use tariff with stochastic demand, *Production and Operations Management*, 26(1), 64-79.

Energy Market Place. (2024, August 1), KEPCO  
<https://bigdata.kepco.co.kr/cmsmain.do?scode=S01&pcode=000171&pstate=L&redirect=Y>

Faruqui, A. (2010). The Ethics of Dynamic Pricing., *The Electricity Journal*, 23(6), 13-27.

Faruqui, A. and Sergici, S. (2010). Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments, *Journal of regulatory Economics*, 38(2), 193-225.

Faruqui, A., Sergici, S. and Akaba, L. (2014). The Impact of Dynamic Pricing on Residential and Small Commercial and Industrial Usage: New Experimental Evidence from Connecticut, *The Energy Journal*, 35(1), 137-61.

Faruqui, A., Sergici, S. and Lam, L. (2020). Bridging the chasm between pilots and full-scale deployment of time-of-use rates, *The Electricity Journal*, 33(10), 106857.

Gilbert, B. and Zivin, G. J. (2014). Dynamic salience with intermittent billing: Evidence from smart electricity meters, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 107(PA), 176-190.: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2014.03.011>

Hartway, R., Price, S. and Woo, C. K. (1999). Smart meter, customer choice and profitable time-of-use rate option, *Energy* 24(10), 895-903.

Hausman, A., Kinnucan, M. and Mcfadden, D. (1979). A two-level electricity demand model evaluation of the Connecticut Time-of-Day pricing test, *Journal of Econometrics*, 10, 263-289.

Hlavac, M. (2022). *stargazer: Well-Formatted Regression and Summary Statistics Tables.*, Social Policy Institute, Bratislava, Slovakia. R package version 5.2.3, <https://CRAN.R-project.org/package=stargazer>.

Hogan, W. W. (2010). Fairness and dynamic pricing: comments, *The Electricity Journal*, 23(6), 28-35.

Iacus, S.M., King, G., Porro, G. (2012). Causal Inference without Balance Checking: Coarsened Exact Matching, *Political Analysis*, 20(1), 1-24. doi:10.1093/pan/mpr013

Jang, H., Moon, s. and Kim, J. (2024). Effects of time-of-use pricing for residential customers and wholesale market consequences in South Korea, *Energy Economics*, 134, 107557.: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107557>

Kim, J., Lee, S. and Jang, H. (2022). Lessons from residential electricity demand analysis on the time of use pricing experiment in South Korea, *Energy Economics*, 113, 106224.: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106224>

Nicolson, M. L., Fell, M. J. and Huebner, G. M. (2018). Consumer demand for time of use electricity tariffs: A systematized review of the empirical evidence, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 276-289.

Joskow, P. L. (2019). Challenges for wholesale electricity markets with intermittent renewable generation at scale: The US experience, *Oxford Rev. Econ. Policy*, 35, 291-331.

Liang, J., Liu, P., Qiu, Y., Wang, Y. D. and Xing, B. (2020). Time-of-use electricity pricing and residential low-carbon energy technology adoption, *The Energy Journal*,

41(3).

Liang, J., Qiu, Y. and Xing, B. (2021). Social versus private benefits of energy efficiency under time-of-use and increasing block pricing, *Environmental and Resource Economics* 78, 43-75.

Oh, S. (2021, September 3). Revised Jeju electricity tariff, Jeju MBC.

<https://jejumbc.com/article/1FN22g-y5HVAOYn>

Parag, Y. (2021). Which factors influence large households' decision to join a time-of-use program? The interplay between demand flexibility, personal benefits and national benefits, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110594.

Qiu, Y., Colson, G. and Wetzstein, M. E. (2017). Risk preference and adverse selection for participation in time-of-use electricity pricing programs, *Resource and Energy Economics*, 47, 126-142.

Schleich, J., Faure, C. and Klobasa, M. (2017). Persistence of the effects of providing feedback alongside smart metering devices on household electricity demand, *Energy Policy*, 107, 225-233.

Strbac, G. (2008). Demand side management: Benefits and challenges, *Energy Policy*, 36(12), 4419-4426.

Woo, C.-K., Kollman, E., Orans, R., Price, S. and Horii, B. (2008). Now that California has AMI, what can the state do with it?, *Energy Policy*, 36(4), 1366-1374.

Yang, L., Dong, C., Wan, C. J. and Ng, C. T. (2013). Electricity time-of-use tariff with consumer behavior consideration. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 402-410.

※본 연구는 한국 숲과나눔 재단의 지원으로 이루어졌습니다.