

패널모형을 이용한 국내 전력수요의 가격탄력성 추정에 관한 연구

이재봉*, 윤용범*, 구자열**, 김수덕**
 한전 경영연구소*, 아주대 에너지시스템학부**

An Estimation of Price Elasticity of Electricity Demand with Panel Model

Jae-Bong Lee*, Yong-Beum Yoon*, Ja-Yeol Ku**, Suduk Kim**
 KEPCO KEMRI*, Ajou University**

Abstract - 스마트그리드 구현에 실시간요금제 적용이 핵심으로 등장하고 있다. 실시간요금제 적용 시 전력수요의 변동을 시뮬레이션하기 위하여 2005년부터 2009년의 전자시전력계 계량데이터를 이용하여 전력수요의 가격탄력성을 구하였다. 가격탄력성을 산출하기 위하여 시계열 분석과 횡단면 분석을 동시에 수행할 수 있는 패널모형 분석을 적용하였으며, 국내 전기요금에 대하여 계약종별, 산업분류별 가격탄력성을 실시간요금제에 대비하여 1시간 단위로 구하였다. 국내 전력수요의 가격탄력성은 계약종별 및 산업분류별로 대부분의 경우 -0.1 이내로 산출되어 가격탄력성이 매우 낮게 나타났다. 산업분류별로 가격탄력성을 산출함으로써 통계적 유의수준이 높게 나타났다.

1. 서 론

세계적으로 전력산업에 IT 기술이 적용되어 스마트그리드 도입에 따라 스마트미터가 보급이 확산되면서 실시간요금제를 효과적으로 시행할 수 있는 기반이 마련되고 있다. 실시간요금제 시행에 대비하여 실시간요금제 적용에 따른 전력소비 저감 및 부하이전 효과를 미리 산정하여 기존요금과 수익 증립을 유지하도록 실시간요금을 설계할 필요가 있다.

본 논문에서는 전기요금 변동에 따른 전력수요의 변동을 예측하기 위하여 2005년부터 2009년까지 전력계량데이터와 요금조정 데이터를 사용하여 가격탄력성을 산출하였다. 데이터는 시계열 및 횡단면 데이터를 포함하는 패널데이터 구조이므로 패널모형을 사용하여 전기요금 이외의 전력수요 영향 요인들을 제거하고자 하였다.

전력수요의 가격탄력성에 대한 기본개념, 전력수요에 대한 국내외 연구사례, 패널모형에 대한 기본개념, 본 연구에서 수립한 전력수요 모형과 가격탄력성 추정결과를 설명한다.

모든 재화는 가격에 따라 수요가 변한다. 가격변동에 대한 수요량의 변동 정도를 나타내는 가격탄력성은 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon = \frac{\text{수요량의 변화율}}{\text{가격의 변화율}} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \cdot \frac{P}{Q} \quad (1)$$

여기서, ϵ 는 가격탄력성, P는 재화의 가격, Q는 재화의 수요량이다. 가격이 10% 상승할 때 수요량이 2% 감소하는 경우 가격탄력성은 -0.2가 된다. 전력수요는 표 1에서 비탄력적 수요의 특징을 보이는 필수재에 해당하며, 전기요금의 변화에도 불구하고 전력수요의 변화는 크지 않다.

<표 1> 가격탄력성 크기에 따른 재화의 특성

가격탄력성 값	수요의 특징	재화의 예
$-1 < \epsilon < 0$	비탄력적 수요	에너지, 식량, 의약품 등
$\epsilon = -1$	단위 탄력적 수요	이론적인 값
$-\infty < \epsilon < -1$	탄력적 수요	일반 공산품

해외에서는 다양한 전기요금제가 시행되고 있고 전기요금 결정을 위하여 전력수요의 가격탄력성에 대한 연구가 수행된 사례가 많다. 대표적인 사례로 전력수요의 가격탄력성에 대한 미국 내 연구사례들을 종합하여 분석한 EPRI의 보고서에 따르면, 표 2에 나타난 바와 같이 단기탄력성의 경우 주택용은 -0.3, 상업용 -0.3, 산업용은 -0.2 수준이고, 장기탄력성은 단기탄력성에 비하여 더 크게 나타났다[1].

국내 연구사례에서는 표 3과 같이 해외 연구사례에 비하여 탄력성이 더 낮은 경향을 보이고 있다[2][3][4]. 그러나 국내 연구에서는 어느 모델을 사용하든지 대부분의 경우 가격탄력성 값의 통계적 유의성이 낮은 경우가 많았다. 따라서 전력수요 모델의 수정, 추가 데이터 확보 등을 통하여 가격탄력성의 통계적 유의성을 개선하기 위하여 꾸준한 연구가 필요할 것이다.

<표 2> 전력수요의 가격탄력성 분포 (미국, EPRI)

용도별 구분	단기탄력성			장기탄력성		
	최저	중간	최대	최저	중간	최대
주택용	-0.2	-0.3	-0.6	-0.7	-0.9	-1.4
상업용	-0.2	-0.3	-0.7	-0.8	-1.1	-1.3
산업용	-0.1	-0.2	-0.3	-0.9	-1.2	-1.4

<표 3> 전력수요의 가격탄력성 국내 연구 사례

용도별 구분	1996 예경연		1997 한전	2004 예경연
	단기	장기	단기	단기
주택용	-0.16	-0.38	-0.056	-0.025
일반용	-0.02	-0.10	-0.128	-0.074
산업용	-0.15	-0.28	-0.130	-0.285

패널데이터는 시계열(time-series) 데이터와 횡단면(cross-sectional) 데이터를 동시에 가진 데이터 구조이다. 시계열 데이터는 특정 개체에 대해 관측 시점이 여러 개인 반면, 횡단면데이터는 특정시점에 있어서 관측되는 데이터가 여러 개다. 이와 같이 시계열 데이터와 횡단면 데이터를 하나로 합쳐놓은 것이 패널 데이터(panel data)이다. 즉 패널 데이터는 여러 개체에 대해 그 현상이나 특성을 일련의 관측시점별로 기록해 놓은 것이다[5].

표 4와 같이 여러 가구(개체)에 대하여 3년간(시계열), 소득, 전기요금, 저축률의 3가지 횡단면 데이터를 가진 형태를 가진다.

<표 4> 패널데이터 구조의 예(균형패널)

가구	연도	소득	전기요금	저축률
1	2005	4,200	300,000	30 %
1	2006	4,300	320,000	32 %
1	2007	4,500	330,000	33 %
2	2005	3,500	250,000	43 %
2	2006	3,800	260,000	44 %
2	2007	3,900	280,000	40 %
...

패널데이터는 시계열 및 횡단면 데이터를 모두 가지고 있기 때문에 한 가지 데이터의 분석만으로 파악할 수 없는 추가적 정보를 얻을 수 있다[6]. 패널데이터를 분석하면, 다음과 같은 장점이 있다.

첫째, 패널데이터는 개별적 특이성(individual heterogeneity)을 통제할 수 있다. 둘째, 패널데이터는 다중공선성의 문제를 줄일 수 있다. 셋째, 패널데이터는 조정의 동태성(dynamics of adjustment)을 가능하게 해준다. 넷째, 패널데이터는 순수한 횡단면이나 순수한 시계열데이터에서 포착하기 힘든 효과를 보다 잘 측정할 수 있다. 다섯째, 패널데이터는 횡단면데이터나 시계열데이터에 비해서 복잡한 행태적 모형을 구축 및 검증하게 해준다. 여섯째, 패널데이터는 개인, 기업, 정부 등과 같이 미시적인 단위에서 수집되는 데이터에서 발생하는 편이(bias)를 통제하게 해준다.

패널데이터는 위에서 열거한 여러 가지 장점을 가지고 있으나 한계점도 가지고 있다. 첫째, 데이터를 수집하고 설계하는 데 많은 시간과 노력이 소모된다. 둘째, 패널데이터의 시계열이 단기간일 경우 분석결과와 신뢰성이 떨어질 수 있다. 셋째, 데이터의 크기가 커서 분석이 어렵고 전산비용이 많이 소요된다.

2. 본 론

2.1 분석에 사용된 자료

2005년부터 2009년까지 5년간(시계열) 전력사용량 계량데이터에서 고객정보 변동데이터 34,206개와 기업 전력부하 데이터 14,149개(횡단면)를 정리하여 최종적으로 8,645개의 기업을 선택하고, 전기요금자료와 기상청의 지역별 기상데이터를 사용하여 패널데이터를 구축하여 전력수요의 가격탄력성 분석에 사용하였다.

2.2 분석 모형

가격탄력성은 다음과 같은 회귀방정식을 이용하여 구한다.

$$\ln Q = \alpha + \beta \ln P \quad (2)$$

여기서, Q 는 수요량, α 는 상수, β 는 가격탄력성, P 는 가격을 나타낸다. 식 (2)로부터 가격탄력성을 구할 수 있음을 다음과 같이 확인할 수 있다. 식 (2)의 양변을 P 로 미분하여 정리하면,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dP}(\ln Q) &= \beta \frac{d}{dP}(\ln P) \\ \frac{1}{Q} \frac{\partial Q}{\partial P} &= \beta \frac{1}{P} \\ \beta &= \frac{\partial Q}{\partial P} \cdot \frac{P}{Q} \end{aligned}$$

여기서, β 가 식 (1)의 ϵ 과 같고, 가격탄력성을 의미함을 알 수 있다. 그런데 전력수요량은 가격뿐만 아니라 계절, 요일, 시간, 기상조건 등 다양한 요소의 영향을 받기 때문에 이들 영향에 의한 변동을 각각의 변수로 분리하여 별도로 구분해낼 필요가 있다. 따라서 식 (2)는 다음과 같이 확장된다.

$$\ln Q = \alpha + \beta \ln P + \gamma_1 \ln D_1 + \dots + \gamma_x \ln D_x \quad (3)$$

여기서, γ 는 각 변수들에 대한 탄력성(민감도)이고, D 는 가격외에 전력수요량에 영향을 미치는 변수들을 의미한다. 본 연구에서는 식(3)을 패널데이터를 활용하여 시간대별 가격탄력성을 구하기 위한 모형을 구성하였다.

구체적으로는 아래와 같이 시간대별 모형을 구성하고, 24시간의 Lag가 포함되어 있는 형태이다. 표 5에 관련 변수를 상세히 나타내었다.

$$\begin{aligned} \hat{y}_{i,t} = & \sum_{k=1}^{24} \hat{\alpha}_k y_{i,t-k} + \hat{\beta} P_rate \\ & + \sum_{k=2}^{24} \hat{\gamma}_{1k} P_JanH_k + \sum_{k=1}^{24} \hat{\gamma}_{2k} P_FebH_k + \dots + \sum_{k=1}^{24} \hat{\gamma}_{12k} P_DecH_k \\ & + \hat{\delta}_1 P_Mon + \hat{\delta}_2 P_Tue + \dots + \hat{\delta}_6 P_Sat \\ & + \hat{\delta}_7 P_MonHol + \hat{\delta}_8 P_TueHol + \dots + \hat{\delta}_6 P_SatHol \\ & + \hat{\eta}_1 P_NY + \hat{\eta}_2 P_TG \\ & + \hat{\theta}_1 P_Yrt06 + \hat{\theta}_2 P_Yrt07 + \hat{\theta}_3 P_Yrt08 + \hat{\theta}_4 P_Yrt09 \\ & + \hat{\rho}_1 P_sz + \hat{\rho}_2 CDD + \hat{\rho}_3 HDD + \hat{\rho}_4 Humd + \hat{\rho}_5 Week_E + a_i \end{aligned}$$

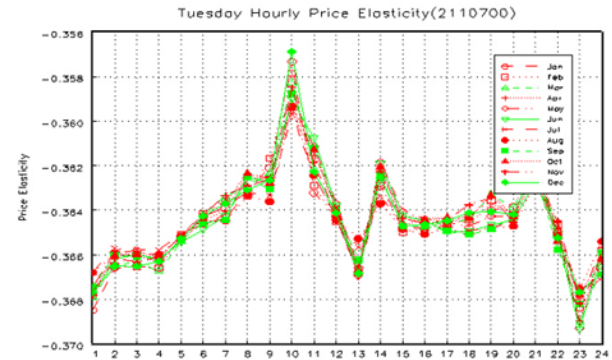
<표 5> 시간대별 모형(24시간 Lag 포함)의 변수명 설명

변수명	설명	변수명	설명
P_rate	시간대별 요금	P_WedHol	수요일, 공휴일 가격더미
$Y(t-1)$	t-1기의 전력수요	P_ThuHol	목요일, 공휴일 가격더미
$Y(t-2)$	t-2기의 전력수요	P_FriHol	금요일, 공휴일 가격더미
...		P_SatHol	토요일, 공휴일 가격더미
$Y(t-23)$	t-23기의 전력수요	P_NY	설날의 가격더미
$Y(t-24)$	t-24기의 전력수요	P_TG	추석의 가격더미
P_JanH2	1월 2시의 가격더미	P_Yrt06	2006년의 년도 가격더미
P_JanH3	1월 3시의 가격더미	P_Yrt07	2007년의 년도 가격더미
...		P_Yrt08	2008년의 년도 가격더미
P_DecH23	12월 23시의 가격더미	P_Yrt09	2009년의 년도 가격더미
P_DecH24	12월 24시의 가격더미	P_sz	계약용량의 년도 가격더미
P_Mon	월요일의 가격더미	CDD	냉방도일
P_Tue	화요일의 가격더미	HDD	난방도일
P_Wed	수요일의 가격더미	$Humd$	습도
P_Thu	목요일의 가격더미	$Week_E$	주중 사용량 시간대별 평균
P_Fri	금요일의 가격더미	a_1	1번째 개별기업 더미
P_Sat	토요일의 가격더미	...	
P_MonHol	월요일, 공휴일 가격더미	a_n	N번째 개별기업 더미
P_TueHol	화요일, 공휴일 가격더미		

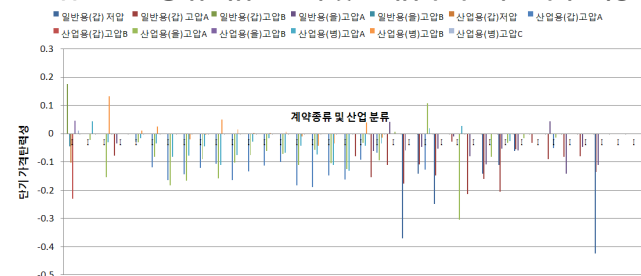
2.3 분석결과

전력사용량 계량데이터를 위 패널 모형을 사용하여 변수들의 계수들을 구하면 이 중의 $\hat{\beta}$ 가 가격탄력성을 나타내며 이것은 1년 365일, 1일 24시간의 각 시간대별 가격탄력성을 갖는다. 이러한 가격탄력성이 계약종별-산업분류별로 산정되며, 그것의 한 예로 일반용(갑)저압 중 도매 및 소매업에 대한 화요일의 시간대별 가격탄력성을 그림 1에 나타내었다. 오전 10시대에 가격탄력성이 가장 낮고, 13시와 23시에 탄력성이 높게 나타나 있다. 그림 2에는 계약종별-산업분류별 가격탄력성을 종합하여 나타낸 그림이다. 가격탄력성이 0에서-0.4 사이에 분포하고 있으나 대부분은 0에서 -0.1 사이에 분포함으로써 가격탄력성이 매우 낮게 나타나고 있다.

본 논문에 모두 나타낼 수는 없으나 본 모형에서 구해진 가격탄력성이 통계적 유의성이 거의 모두 양호하게 나타나 본 모형의 신뢰성이 타 연구결과에 비하여 높다고 할 수 있다.



<그림 1> 일반용(갑)저압 - 도매 및 소매업의 시간대별 가격탄력성



<그림 2> 계약종별/산업분류별 가격탄력성 결과

3. 결 론

국내의 전력수요의 가격탄력성에 대한 연구는 대부분 전기요금 구조의 계약종별로 한정되어 왔다. 본 연구에서는 계약종별 산업분류별 가격탄력성을 패널데이터 모형을 활용하여 시간대별로 산정하였다. 본 연구 결과는 향후 실시간요금제 등의 시간대별 요금제도 도입에 대비하고 적절한 수요반응을 유도하기 위한 요금설계 등에 활용할 수 있다.

국내의 전력수요 가격탄력성은 해외의 가격탄력성에 비하여 매우 낮게 나타났으며, 이것은 향후 요금변동에 대한 전력수요의 변동이 크지 않을 것임을 예측할 수 있다.

향후 본 연구에서 산출한 시간대별 가격탄력성을 이용하여 실시간요금제에서 전력수요 패턴을 시뮬레이션을 수행할 계획이다. 실시간요금제에서 최대수요 감소효과를 산출함으로써 실시간요금제 도입에 따른 경제적 효과를 평가할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Price Elasticity of Demand for Electricity: A Primer and Synthesis, EPRI 2008
- [2] 전력수요의 가격탄력성과 요금조정방안, 에너지경제연구원, 1996. 3
- [3] 가격탄력성 산출에 관한 연구, 한전 전력경제처, 1997. 12
- [4] 전력수요 가격탄력성 추정 및 활용방안 연구, 한전 영업처, 2004. 2
- [5] STATA 패널데이터 분석, 민인식, 최필선, 한국STATA 학회
- [6] 최충익, "알기쉬운 연구방법론: 패널모형: 시계열 분석과 횡단면 분석을 한번에", 건설경제, V. 320, 2008. 6
- [7] 실시간요금제 영향분석을 위한 전력소비 분석모형(중간보고서), 한전 경영연구소, 2010. 12