

## Polynomial Type Price Sensitive Electricity Load Model

崔 峻 榮\* · 金 正 勳\*\*  
(Joon-Young Choi · Jung-Hoon Kim)

**Abstract** - A research about finding a new electricity load model that is sensitive to the price of electricity is conducted. This new model is polynomial type price sensitive electricity consumption model, while former electricity consumption models have exponential terms or statistic terms. The pattern of electricity consumption of each electricity using devices were identified first, then the proportion of the devices at buses or nodes are investigated, finally weighted sum of electricity consumption and the proportion makes the load model or consumption model of electricity at one bus or node. This new model is easy to use in the simulations or calculations of the electricity consumption, because the arithmetic of functions with polynomial terms are easy compared to the functions with transcendental terms.

**Key Words** : price sensitive electricity consumption model, electricity market, load model

### 1. 서 론

최근 전력산업은 전 세계적으로 독점적인 수직 통합 공급 구조가 해체되고, 발전, 송전, 배전의 각 부분에 경쟁이 도입되고 있다. 우리나라도 단계적으로 이를 도입하여 2009년 이후에는 현재의 독점공급체제가 완전한 경쟁체제로 바뀔 예정이다. 이에 따라 전력의 가격의 결정 기준은 비용기준에서 가격기준으로 바뀌게 될 것이고, 민간 사업자가 경쟁적으로 전력을 공급함에 따라 소비자는 다양한 요금의 전력을 도입하게 될 것이다. 따라서 가격에 대한 관심이 커지게 되므로 전력 가격의 변화에 따라 전력 부하는 많은 영향을 받게 된다. 이와 같은 현상을 효과적으로 해석하고 전력산업 전반에 오게 될 변화에 효율적으로 대처하는 전력수요관리 정책 등에 반영하기 위해서 전력의 가격변화에 따른 수요변화를 반영하는 부하모형을 찾아낼 필요가 있다.

전력시장이 개방되면 전력사업자가 자유롭게 진입하거나 탈퇴하는 것에 관계없이 송전계통을 원활히 운전할 수 있게 하는 독립적이고 독립적인 계통운영자(ISO; Independent System Operator)가 있어서 전력계통운영, 전력시장관리, 품질유지서비스(ancillary service), 송전설비공급과 운용 등의 기능을 수행해야 한다. 이 독립계통운영자가 계통운영, 미래의 설비투자계획수립 등의 업무를 수행할 때 가격이 수시로 바뀌는 전력을 소비하는 소비자의 모형(가격부하모형)을 확보하고 있어야 신뢰성 높은 시뮬레이션이 가능하게 된다. [1]

현재 전력의 소비량을 계산하는 부하모형은 독립변수가 전압, 주파수 등이며 이들은 주로 전압 또는 주파수가 변화할 때 전력계통의 안정도를 알아보는 시뮬레이션에 쓰일 목적으로 개발되었다. 전력의 가격을 독립 변수로 하는 가격부하모형도 최근 제시되고 있으나[2-5], 이들 모형은 일정한 수요탄력성을 갖는 지수함수형태의 것이어서 계산이 어렵다. 단가[2-3], 구체적인 수식이 아니어서 시뮬레이션이 어렵다. 단가[5] 하는 등의 현실적인 문제가 있어서 실 계산에 적용할 수 있는 새로운 전력 가격부하모형이 필요하다.

이 논문에서는 전력이 시장에서 거래되는 상황에서 소비자의 전력 수요량을 나타내 줄 요금에 따른 모션별 부하모형을 찾아내는 방안을 제안하고, 다항식 형태로 된, 부하 구성성분별 가격부하모형(price sensitive load model)을 추정해내고자 한다. 기존 가격부하모형은 주로 지수함수형태의 모형이었는데, 이 논문에서 새로이 제안하는 모형은 다항식 형태의 모형이므로 모션의 부하 구성비를 알면 이를 가중평균하여 모션전체의 전력가격부하모형을 구할 수 있다.[6-7]

### 2. 가격부하모형

#### 2.1 가격부하모형 찾기

기존의 연구[6,8]에 의하여 정교한 부하구성비를 알 수 있으므로 이를 이용하여 가격부하모형을 구할 수 있는 방법을 그림 1과 같이 제안한다. 이 방법은 개별 가격부하모형이 확립되어 있다면 이 것에 이미 구해진 각 용도의 주요 개별 부하의 구성비를 가중하여 더하여 용도별 모형을 쉽게 얻고, 또한 각 모션은 용도별 부하들로 구성되어 있으므로 즉시 모션별 가격부하모형이 얻어지도록 하는 방법이다.

이를 구체화하면, 주거용 개별 부하인 TV, 조명, 냉장고

\* 正 會 員 : 全州大 工學部 助教授 · 工博  
\*\* 正 會 員 : 弘益大 電子電氣工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2002年 3月 28日  
最終完了 : 2003年 1月 5日

등이 요금에 따라 전력수요가 어떻게 달라지는지 알 수 있다면 이들의 부하구성비를 가중하여 곱하면 주거용 가격부하모형을 얻을 수 있고, 이와 같은 방법으로 상업용, 산업용 부하에 대한 가격부하모형을 구하며, 경쟁시장에서는 입찰이 모션단위로 일어나므로, 모션별 용도별 부하구성비를 이용하여 모션별 가격부하모형을 추정하게 되는 것이다. 이와 같은 주거용, 상업용, 산업용의 세 가지 용도별 가격부하모형은 모션별 요금모형 뿐만 아니라 지역(area, zone)별, 계절별, 일형식별, 시간별 등 어떠한 형태의 부하모형이라도 찾아낼 수 있고, 이를 보다 더 확장하여 전국에 대한 가격부하모형을 찾아내는 것도 할 수 있다.

표 1 부하의 분류와 대표 부하군

Table 1 Classification of loads and their representatives

구분	상업용	주거용	산업용
계절별	봄, 여름, 가을 겨울		
일형식별	월요일, 근무일, 토요일, 일요일, 공휴일		
세분류	없음	서울, 광역시, 기타시, 군	경공업, 중공업
대표 부하군	조명, 동력, 전산, 냉/난방, 기타	취사, TV, 냉방, 냉장고, 진공청소기, 세탁기, 조명, 기타	동력, 조명, 기타, 전열/전기화학

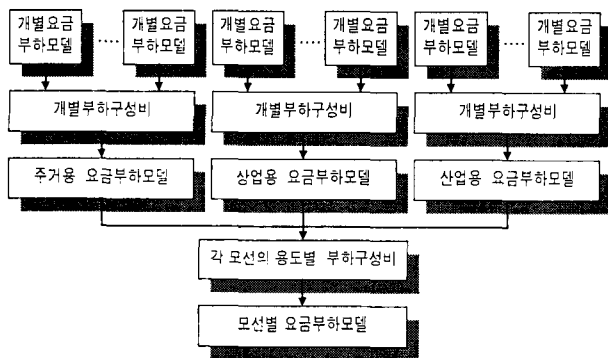


그림 1 가격부하모형의 수립 흐름도

Fig. 1 Flowchart of price sensitive load model building

## 2.2 부하의 분류

전력계통의 부하구성은 시시각각 변화하므로 공통적인 특징을 갖고 있는 것을 묶으면 표 1과 같이 용도별, 계절별, 일형식별, 지역별, 시간별로 분류할 수 있다. 계절별 분류는 기기별 월별 전력 사용량과 최대치, 평균치 및 부하율 등에 근거하여, 봄, 여름, 가을, 겨울 등 4개의 계절로 분류하게 되고 한국전력공사의 분류기준에 따라 대표 월을 각각 5, 8, 10, 12월로 각각 선정한다. 요일이나 일 형식에 따른 부하형태가 다르므로 표와 같이 5개 일 형식별로 잘게 나뉘며, 지역별로 생활 양식의 차이로 인하여 부하 구성요소의 보급율이 다른 주거용 부하를 4개 지역으로 나누게 된다. 그리고 필요에 따라 산업용 부하를 중화학과 경공업으로 더욱 잘게 나눌 수 있다.

## 2.3 부하구성비

앞에서 언급한 부하구성비에 대한 연구에서 제시한 구성비 추정방법을 요약하면 다음과 같다. 우선 상대계수와 에너지 구성비를 가지고 부하곡선을 구성해내는데, 여기서 상대계수는 시간별 전력을 평균전력으로 나눈 값인데(즉, 상대계수×평균전력=시간별 전력) 이 값은 용도별로 대표 부하군들에 대하여 여러 조사 자료를 근거로 산출된다. 용도별 전력량에 에너지 구성비율을 곱하면 각 부하군에 해당하는 전력량이 구해지고, 여기에 상대계수를 곱하면 부하군별 부하곡선이 계산되고 다시 이들을 합함으로써 용도별 부하곡선을 구성할 수 있다. 만일 이 부하곡선이 실제 부하곡선과 동일하다면, 각 시간에 있어서 부하군별로 차지하고 있는 전력이 전체 용도에 대한 그 부하군의 구성비로서 결정된다. 그러나 서로 동일하지 않다면 그 오차분을 조정해 주는 과정이 필요하게 되는데, 이러한 오차를 조정해 주는 방법으로는 입력자료의 신뢰성에 따라 전문가 시스템이나 최적화 기법이 사용된다. 그림 2는 부하구성비 추정 결과 중 주거용의 가을 토요일의 부하곡선과 구성비 자료를 나타낸 것이다. 계절별, 일형식별, 지역별, 지역별(주거용에 한함), 시간별로 기기별 부하구성비가 산출되어 이 자료를 본 연구에 활용할 수 있다.

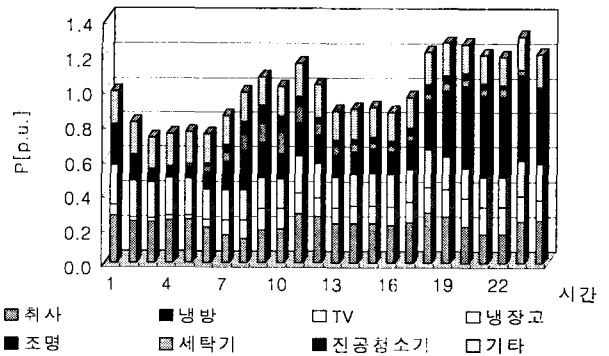


그림 2 주거용 가을 토요일 부하구성비

Fig. 2 load component ratio of home, autumn, Saturday

## All PX Transactions

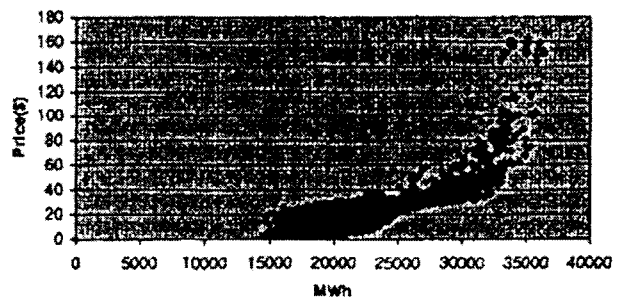


그림 3 Cal PX의 시장요금과 거래전력량

Fig. 3 Price and demand of CalPX

### 3. 가격부하모형의 형태

#### 3.1 개요

가격부하모형을 찾아내려면 개별 수요의 가격부하모형이 있어야 한다. 전력 가격과 전력량과의 관계를 알아보기 위해 경쟁전력시장인 미국의 경우를 살펴보면, 캘리포니아 전력거래소(California Power Exchange, CalPX)는 입찰에 참여하는 모든 참여자들의 공급곡선과 수요곡선을 모아서 거래 당일의 각 시간에 있어서의 단일 시장 공급곡선과 단일 시장 수요곡선을 만든다. 이러한 공급과 수요곡선의 교차점에서 각 시간의 시장 가격과 거래 전력량이 결정되며 일정한 기간동안의 시간별 시장가격-거래 전력량은 그림 3과 같은 특성을 보이고 있다.

#### 3.2 전압 주파수 부하모형

앞의 시장가격-거래 전력량 관계와 유사한 특성을 보이고 있는, 전력계통의 안정도해석에 주로 사용하기 위하여 제안되었던 전압과 주파수의 변화에 따른 유·무효전력의 변화를 정식화한 부하모형에 대해 살펴본다.

##### 3.2.1 개별 부하 및 부하군의 전압 주파수 특성

개별 부하기기는 전압, 주파수에 따라 유효전력과 무효전력의 응답특성이 다르다. 그 응답특성은 대표적인 개별 부하기기들을 대상으로 전압·주파수를 변환시켜가면서 각 기기들의 유효전력과 무효전력 값의 변화를 측정하는 개별부하실험을 통해 알아볼 수 있다. 그림 4와 그림 5는 개별부하실험 결과 중 TV와 에어컨의 응답특성 데이터를 도시한 것인데, 위쪽에 나타나는 점들은 유효전력, 아래쪽에 나타나는 점들은 무효전력에 대한 데이터이며, x축은 전압[V], y축은 전력[W,Var]을 나타낸다.[13]

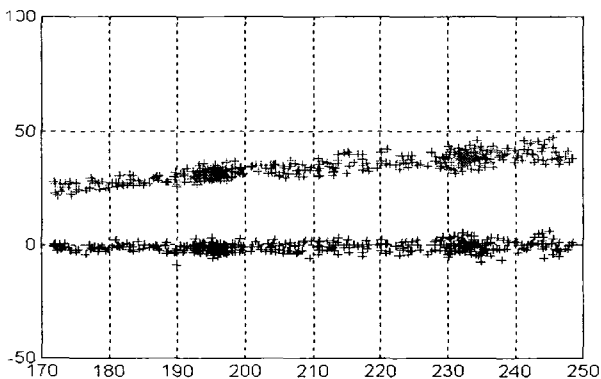


그림 4 TV의 응답특성  
Fig. 4 Frequency response characteristic of TV load

이러한 전압과 주파수 변화에 대한 개별 부하의 유효전력과 무효전력의 응답이 수식적으로 모형화된다면, 특정 시점에서의 모선의 부하모형을 얻고자 하는 경우는 특정 시점에 모선의 집단 부하를 구성하는 개별 부하의 구성비를 파악하

고, 개별 부하의 모형에 개별 부하구성비에 해당하는 가중치에 적용하여 합산하면, 특정 시점의 대상 모선 전체의 부하모형을 얻게 된다.

한편, 다양한 개별부하들이 모여 있는 집단부하에 대해 전압·주파수를 변환시켜가면서 유효전력과 무효전력 값의 변화를 측정하는 집단부하 특성실험의 결과의 형태는 다음의 그림 6과 같으며 이는 전압 주파수 부하모형의 특성도 그림 3의 가격-전력량 관계의 특성과 유사하다는 것을 보여준다.

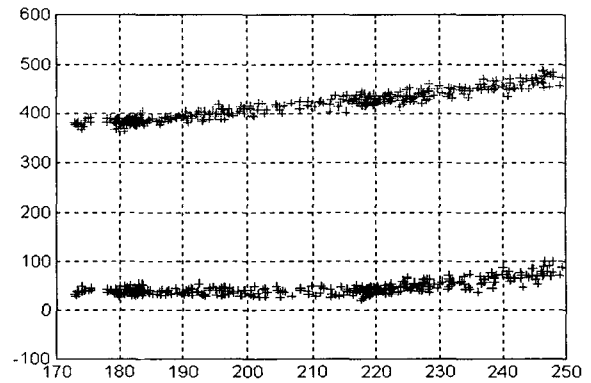


그림 5. 에어컨의 응답특성  
Fig. 5 Frequency response characteristic of air conditioner

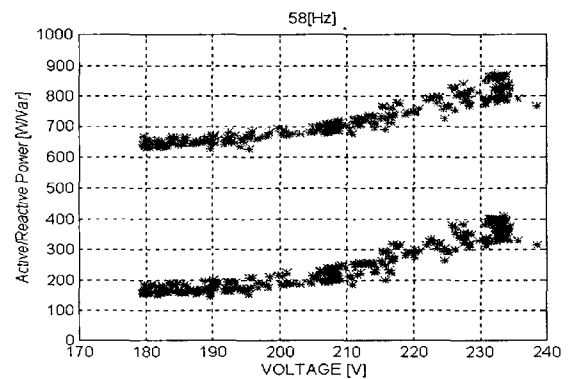


그림 6 집단부하 특성실험의 한 예  
Fig. 6 Example of collective load characteristic

##### 3.2.2 부하특성의 표현

앞과 같이 나타난 현상을 수학적으로 정식화하여 전력계통해석에 이용하기 전에, 앞의 그림과 같이 나타난 부하특성에 대한 정식화의 역사적인 발전과정을 살펴본다.

기존의 부하모형 중 물리적인 표현이 가장 잘 되었던 정어드미턴스·정전류·정전력의 모형(ZIP모형)이 널리 사용되었으나 이 모형은 실제 부하가 전압·주파수에 대해 부하의 유효전력 및 무효전력의 변화를 충분히 반영하지 못하여, ZIP 모형을 개선한 전압에 대한 지수함수모형이 1973년 미국 전기전자공학회의 위원회(IEEE committee)에서 제안되

었다. [9] 그 후, 부하에 관한 대규모 연구가 시작되어, 1979년 미국 전력연구소(Electric Power Research Institute, EPRI)가 알링턴의 텍사스 주립대학교(University of Texas at Arlington, UTA) 등에 의뢰한 연구[10]나 1987년 GE사(General Electric Co.)에서 개발한 LOADSYN 프로그램[11] 등에서 초일함수와 지수함수가 일부 섞인 다항식 형태의 모형을 제시함으로써 지수함수 모형에 비해 부하의 동태특성과 무효전력 부분을 상당히 개선하였다. 그러나 이러한 모형은 식의 표현이 복잡하고, 부하축약을 위한 방법론이 여러 개 있는 등, 부하축약이 쉽지 않다는 단점을 지니고 있다.

3.2.3 5차 다항식 모형

1990년에는 한국전력에서 “전력계통 안정도 해석을 위한 적정부하모형에 관한 연구”를 수행하여 식 (1)(2)와 같은 일관된 5차 다항식의 개별부하모형을 제안하였다. [12]

$$P_L(V, F) = a_p + b_p \Delta V + c_p \Delta V^2 + d_p \Delta V^3 + e_p \Delta V^4 + f_p \Delta V^5 + g_p \Delta V \Delta F + h_p \Delta V^2 \Delta F + i_p \Delta F \quad (1)$$

$$Q_L(V, F) = a_q + b_q \Delta V + c_q \Delta V^2 + d_q \Delta V^3 + e_q \Delta V^4 + f_q \Delta V^5 + g_q \Delta V \Delta F + h_q \Delta V^2 \Delta F + i_q \Delta F \quad (2)$$

단,

$a_p, b_p, \dots, i_p$  : 유효전력모형의 특성계수

$a_q, b_q, \dots, i_q$  : 무효전력모형의 특성계수

그림 4, 5와 같은 개별 부하기기 실험의 결과 중 냉장고를 5차 다항식으로 정식화한 특성을 그림 7, 8에 나타낸다.

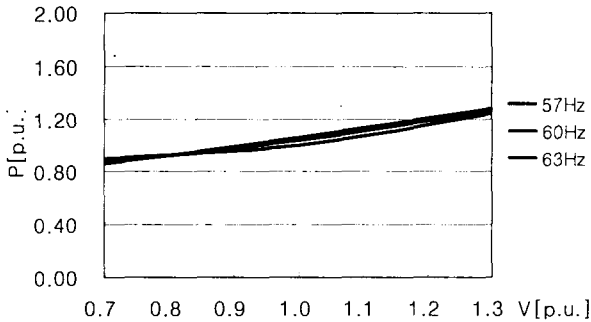


그림 7 냉장고의 주파수와 전압에 대한 특성(유효전력)  
Fig. 7 Load characteristic of refrigerator according to voltage and frequency change (real power)

이러한 개별 부하기기의 5차 다항식 모형에 그 모션에서의 부하구성비를 가중하여 구한 부하모형에 의해 추정된 값과 측정을 통해 얻어지는 값이 동일하다면, 개별요소 각각의 전압 주파수 특성과 구성비만 알면 축약을 통해 모션 전체의 부하모형을 구할 수 있다고 말할 수 있다. 아울러 이것은 5차 다항식 모형을 이용한 개별 부하 응답특성의 수식적 정식화가 축약시 유용하다는 것을 보여주는 것이다.

물론 엄밀하게 생각하면 각 개별요소의 전압특성이 서로

다르기 때문에 각 전압점마다 구성비가 일치하지 않으며, 주파수의 영향까지 고려한다면 양자의 차이는 좀 더 커지게 될 것이다. 그러나 이러한 차이는 실제적인 응용면에서는 큰 문제가 되지 않으며 축약의 유용성을 감소시키지도 않는다. 이를 보이기 위하여 실제로 전압-주파수에 대한 특성을 비교한 결과의 한 예를 보면 유효전력의 경우에는 두 모형의 결과가 거의 일치하고 있으며(그림 9), 무효전력의 경우에서도 근소한 차이만을 보이고 있다(그림 10).

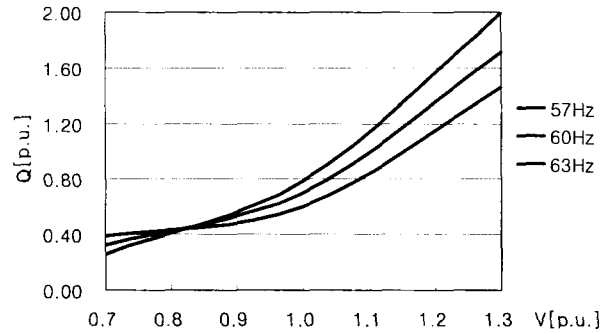


그림 8 냉장고의 주파수와 전압에 대한 특성(무효전력)  
Fig. 8 Load characteristic of refrigerator according to voltage and frequency change (reactive power)

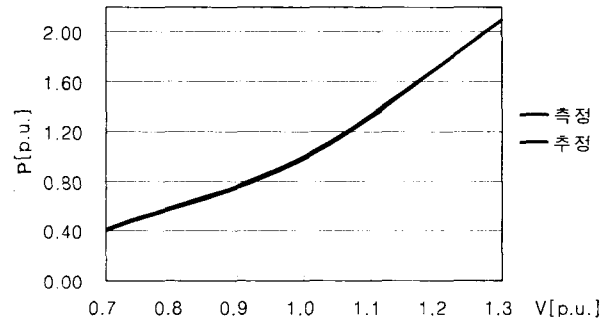


그림 9 집단부하 실험결과와 축약결과 비교(유효전력)  
Fig. 9 Comparison of demand between collective load and reduced load model (real power)

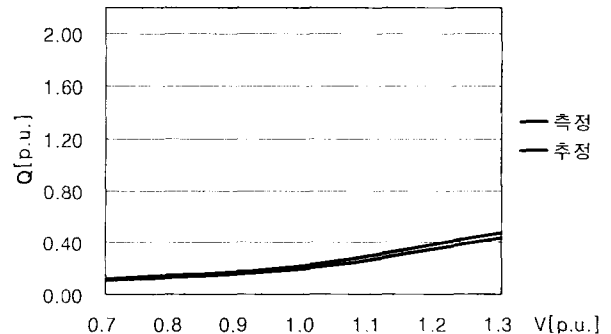


그림 10 집단부하 실험결과와 축약결과 비교(무효전력)  
Fig. 10 Comparison of demand between collective load and reduced load model (reactive power)

이와 같이 일관된 5차 다항식의 개별부하모형이 부하의 응동특성을 정확히 반영하고 있음을 실험을 통하여 입증하였다. 부하구성비를 이용한 자료변환 및 활용이 용이하다는 것을 보임에 따라, 1999년부터 한전에서는 같은 5차 다항식 부하모형을 가지고 새로워진 부하환경에 대한 연구를 다시 진행하고 있다[13].

3.3 부하별 다항식 가격부하모형

3.3.1 가격과 전력량의 관계

앞에서 가격과 전력량과의 관계를 알아보기 위해 미국 캘리포니아 전력거래소(California Power Exchange, CalPX)의 시간별 시장가격-거래 전력량 그래프(그림 3)를 살펴보았다. 이는 그림 6의 전압 주파수 모형의 특성과 유사한 형태를 나타내고 있고, 그 추이는 지수형태로 정식화 될 수 있다 [14] 자료의 유형은 표 2와 같다.

단, 여기서 결정되는 요금은 ISO가 계통운영에 소요되는 비용 등을 요금에 부과하여 시장에서 실제로 전력이 거래될 때의 요금(Market Clearing Price, MCP)이 아닌 그 전 단계의 시장요금(Unconstrained-, UMCP)인데, 이는 요금과 거래 전력량 관계의 전반적인 경향에 영향을 미치는 것은 아니므로 오히려 간단한 분석을 가능하게 하며, 또한 그림 3은 '모선'에 있어서의 요금과 전력량의 관계를 보여주는 그림이므로 개별기에 있어서의 요금과 전력사용 간의 관계와는 다소 차이가 있을 것이므로 추후 이에 관련된 자료 수집과 분석이 필요할 것이다.

표 2 Cal PX의 시장요금과 거래전력량(일부)  
Table 2 Price and demand of CalPX (part)

Date	Hour	Price	Quantity
...			
12/01/99	1	26.0033	19882.5
12/01/99	2	24.8158	19537.5
12/01/99	3	23.7791	19095.2
12/01/99	4	23.0030	18974.6
12/01/99	5	25.0001	19421.5
12/01/99	6	27.9996	20681.4
12/01/99	7	31.3870	22790.6
...			

3.3.2 기존의 가격부하모형

1982년 Caramanis, Bohn, Schweppe 등은 전기요금에 따른 가격으로 시시각각 변화하는 상황에서 소비자의 행동을 이견한 바 있다. 즉, 전기 소비자는 전력의 가격이 높은 시간대에서는 전기 사용을 최소화하려 할 것이고, 낮은 시간대에서는 효율적인 전기사용 계획을 마련할 것이다. 이러한 소비자의 행동을 기반으로, 전력수요의 예측, 최적의 공급량 결정 등을 효율적으로 수행하기 위해 전력가격에 따라 변화하는 수요함수의 수리적 모형이 필요하게 되었다. 이에 따라 Baughman, Siddiqi 등은 1991년 최초로 모선별 유효전력 수요와 무효전력 수요를 시스템 한계비용과 가격에 대한 수요의 탄력성의 함수로 정식화하였다. [2] 수식 표현은 식 (3),(4)와 같다.

$$P_i = Dp_i(MCp_i)^{Epi}(MCq_i)^{Eqi} \tag{3}$$

$$Q_i = Dq_i(MCp_i)^{Eapi}(MCq_i)^{Eqi} \tag{4}$$

단,  $MCp_i, MCq_i$ :  $i$ 모선 유·무효전력의 한계비용

$Epi, Eqi$ :  $i$ 모선의 유·무효전력 수요의 탄력성

$Eapi, Eqi$ :  $i$ 모선의 유·무효전력의 교차 탄력성

$Dp_i, Dq_i$ : 단위통일을 위한 유·무효전력 수요

여기서 교차탄력성이란 무효전력의 요금에 유효전력의 수요량에 미치는 영향을 나타내는 상수와 유효전력의 요금에 무효전력의 수요량에 미치는 영향을 나타내는 상수를 의미한다. 이 모형은 각 계수들,  $Dp_i, Dq_i, Epi, Eqi, Eapi, Eqi$ 가 용도별, 계절별, 시간별, 날씨와 같은 외부 원인 등에 따라서 변하며, 유효전력과 무효전력 모두 수요탄력성의 함수이며, 유효전력과 무효전력간에 교차탄력성이 있다고 가정한다. 그래서 한 모선의 유효전력량은 그 모선의 유효전력의 요금과 함께 무효전력의 요금이 주어질 때 결정된다. 마찬가지로 무효전력량도 무효전력의 요금뿐만 아니라 유효전력의 요금이 함께 주어질 때 결정되는 것이다. 즉, 유효전력과 무효전력의 수요를 상호 독립적인 관계로 표현하였다. 그러나 전력계통에서 실제로 소비되는 유효전력과 에너지충·방전에 관계되는 순환에너지 개념인 무효전력은 서로 독립적이 아닌 종속적인 관계를 지니고 있다. 또한 무효전력이 조상설비에 의해서만 생산된다는 가정도 실제와는 다른 것이다.

이외에도 1992년 Baughman과 Lee에 의해 제시된 모형은 기준이 되는 가격과 새롭게 갱신된 가격의 비율과 소비자의 민감도에 의한 지수함수 형태로 제안되었다. [3] 그러나 이 모형은 Siddiqi의 모형들과는 달리 수요함수에 무효전력을 반영시키지 않음으로서 역시 현실과는 거리감이 존재하며 소비자의 민감도 산정의 구체적인 방법론이 제시되지 않은 한계가 있다.

3.3.3 5차 다항식 모형

이와 같이 요금에 대한 특성도 전압-주파수 모형의 경우와 유사한 결과를 보이고 있으므로 가격부하모형에 있어서도 개별 부하의 가격에 대한 응답특성을 기존의 지수 모형이 아닌 5차 다항식으로 정식화한다면 부하의 응동특성을 정교하게 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 지수함수모형에 비해 단순한 형태로서 부하 축약이 쉽다.

따라서 본 연구에서는 각 부하의 종류별로 전력요금에 따라 변화하는 부하를 식(5)와 같이 5차 다항식 형태의 개별 가격부하모형 형태로 제안한다.

$$L_i(P_t) = k_0 + k_1P_t^1 + k_2P_t^2 + k_3P_t^3 + k_4P_t^4 + k_5P_t^5 \tag{5}$$

단,  $L_i(P_t)$ : 가격부하모형으로 표현된 개별부하  $i$

$P_t$ :  $t$  시간의 요금

$k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ : 부하  $i$ 의 특성계수

이러한 5차 다항식모형은 일정 시간대 일정 종류의 부하는 동일하다고 보기 때문에 요금에 따른 특정부하의 특성을 일관되게 보여줄 수 있는 장점을 가지고 있으며, 제안된 구조에 적용할 때 개별 모형에 부하구성비를 가중하여 단순히 계수들의 합만으로 모션에서의 가격부하모형을 구할 수 있게 된다.

#### 4. 가격부하모형의 추정

##### 4.1 개요

앞서 살펴본 전압 주파수 부하모형의 경우 개별 부하요소에 대한 실험이 가능하므로 개별 가격부하모형을 먼저 수립한 뒤 부하구성비를 이용한 축약을 통해 모션별 부하모형을 추정하였으나, 요금에 대한 응답특성은 실험을 통해 찾아낼 수 없으므로 요금에 따른 부하모형을 확립하기 위한 접근 방식에는 다음의 두 가지를 고려할 수 있다.

첫 번째 방법은 이미 전력시장에 경쟁이 도입된 경우에 적용하는 것으로서 연간 입찰자료나 가격에 대한 수요탄력성 자료 등을 입수하여 가격부하모형을 찾아내는 것이다. 즉, 이 방법은 모션에서의 입찰자료를 사용하므로 개별 부하모형의 계수는 수학적인 모델링에 의하여 식별된다. 그러나 우리 전력시장의 경우는 경쟁이 도입되지 않았으므로 이러한 자료가 없어 경쟁시장이 도입된 외국에서 가져와야 하므로 외국과 부하구성 상태가 다른 국내 실정과는 동떨어진 결과를 가져올 것으로 예상되지만 국외의 부하구성비 등의 연구가 보완된다면 곧 도입될 국내 전력시장에서의 가격부하모형을 수립할 수 있는 유력한 방법이라 할 수 있다.

두 번째는 비경쟁시장에서의 요금조정에 관한 근거자료를 이용하여 부하모형을 수립하는 방법이다. 즉, 요금 조정에 의하여 부하가 영향받는 정도를 수리모형을 통하여 구하는 것이다. 이 방법에는 2000년 현재 수직독점체제인 국내 전력산업의 자료를 사용할 수 있다. 지금까지의 국내 전기 요금은 독점사업자에 의한 정책요금으로서 수요와 공급에 의해 결정되는 시장요금에 아니었기 때문에 경쟁시장 하의 가격부하모형을 추정하기 위한 기존의 국내 근거자료를 찾는 것에는 제약이 있게 된다. 따라서 현재 입수할 수 있는 자료인 국내의 전기요금 변동추이, 물가지수, 요금에 대한 수요탄력성 등을 분석해 보고, 이를 이용하여 함께 부하구성비 연구에서 산출·사용하였던 전력사용량, 부하구성비 추정 결과 등의 자료를 이용하여 개별 가격부하모형을 구하는 방법이다.

이 논문에서는 앞에 언급한 두 가지 가격부하모형 모두에 대하여 살펴보고자 한다. 그 이유는 경쟁도입 전의 가격부하모형을 만들려고 할 때는 두 번째 방법이 적절하고 경쟁도입 후에는 첫 번째의 모형이 사용될 것이기 때문이다. 이렇게 해서 만들어진 모형의 두 결과는 같은 나라의 경우에도 서로 차이가 날 것으로 쉽게 예상할 수 있다. 우선 비경쟁시장과 경쟁시장 사이에는 경쟁체제 도입전후로 시간이 경과되므로 부하구성이 달라지기 때문이고, 또한 경쟁시장에서는 부하가 비경쟁시장보다 요금에 대하여 더 민감해 질 것이기 때문이다.

이러한 차이를 규명하는 것은 또 다른 연구라 보이며 아직 경쟁이 도입되지 않은 상태의 우리나라는 두 번째 방법을 사용하여 수요특성을 찾을 수 있을 것이다.

#### 4.2 가격부하모형 추정을 위한 자료

##### 4.2.1 경쟁 전력시장의 입찰자료

우리나라의 전기요금은 그 동안 독점사업자에 대한 규제 목적과 물가 등 경제전반에 미치는 영향을 감안하여 상당히 저렴한 수준으로 유지된 정책적 요금이었다. 따라서 이러한 요금 체제하에서 요금의 변화에 따른 부하의 변화에 대한 연구의 결과를 경쟁시장 체제에 적용한다면 부정확한 결과가 나올 가능성이 있다. 경쟁도입의 초기단계에는 경쟁이행 과정에서 과도기적으로 소요되는 추가적 비용이 요금에 반영되었으나 전력산업이 완전 자유경쟁체제로 전환된 이후에는 수요와 공급에 의한 시장원리에 따라 전력의 요금이 정해지게 될 것이다. 그러므로 이미 전력산업에 경쟁체제를 도입하여 운영하고 있는 각 국가들, 영국, 노르웨이, 미국의 캘리포니아주 등에서의 표 2와 같은 형태의 실제 입찰 통계 자료를 활용할 수 있을 것이다.

물론 이 입찰 통계자료를 사용하는데 있어 경쟁전력시장에서는 수많은 발전사업자들과 수많은 전력수요자들이 서로 경쟁하면서 전력을 거래하게 되므로 전력의 시장요금은 주식과 같이 각 사업자들의 게임(game) 등으로 인해 발생하게 되는 불확실성(volatility)이 존재할 것이다. 그러나 이러한 오차를 백색잡음(white noise)으로 본다면 충분히 큰 모집단을 갖는 자료에서 이들의 총합은 0이 되므로 평균적인 관점에서 무시할 수 있다. 이는 실제 요금을 수식에 대입하여 계산된 부하는 실제부하와 불확실성에 의한 차이가 있지만 그 오차 값들의 합은 0으로 볼 수 있으므로 실제적인 응용에서 문제가 되지 않는다는 것을 의미한다.

##### 4.2.2 가격에 대한 수요탄력성

각 국에서는 전력 요금에 대한 부하의 수요탄력성을 알기 위하여 연구를 계속 진행하여 왔다. 따라서 계수 산정을 위한 최적화 알고리즘의 제약조건으로 수요탄력성(price elasticity of demand)을 이용할 수 있다. 이는 상품가격에 작은 변화가 생겼을 때 그 변화율에 대한 수요량 변화율의 상대적 크기를 의미하며 개별 부하  $i$ 의 수요탄력성은 다음과 같이 일반적으로 나타낸다.

$$e_i = - \frac{\text{수요량의 변화율}}{\text{전력요금의 변화율}} = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \left[ - \frac{\Delta L/L_i(P)}{\Delta P/P} \right] \quad (6)$$

에너지 경제 연구원에서 국내 요금자료를 가지고 수요탄력성에 대해 연구한 결과[15] 중 일부를 표 3에 보인다.

표 3 가격에 대한 용도별 수요탄력성(일부)  
Table 3 Elasticity demands od load categories according to price

	주거용	상업용	산업용
탄력성	0.59	-0.18	-0.38

표 3의 일부 결과는 매우 비탄력적이거나 음(-)의 값을 갖고 있어 가격이 인상되면 오히려 전력수요가 증가하는 결과가 산출되었는데, 이는 전력수요 추정 시 사용하는 전력요금은 사후적인 평균요금을 현가화 한 것이므로 시장내부에 미치는 영향력을 미치는 경제변동의 요소인 상품가격, 거래수량, 노동의 고용량 등 내생변수의 문제를 갖고 있으며, 앞서도 언급했듯이 국내의 전력요금 자체가 정책요금으로서 수요와 공급에 의해 결정되는 시장가격이 아닌데서 비롯된 것이다. 실제로 국내에서는 요금 기능이 미약하고, 소득효과와 영향이 전력수요 증감에 있어서 매우 크게 작용하여 91년 이후 역은 폭이지만 수 차례의 요금의 인상이 있었음에도 불구하고, 전력수요는 연 10%이상의 성장률을 보여왔다. 국내의 수요탄력성 연구결과는 이와 같이 문제를 내재하고 있으므로 추후 정확한 연구 결과가 확보되어야 할 것이다.

### 4.2.3 전기요금 변동

에너지통계연보[16]에 따르면 1972년부터의 전기요금 개정추이를 알 수 있는데 연료비 인상, 환율변동, 에너지 소비 절약 유도, 국민 경제의 활성화 도모, 물가 안정 등의 여러 가지 조정 요인으로 72년 이후 30여 차례에 걸쳐 개정되어 왔다. 표 4는 전기요금 개정추이 중 최근의 일부 개정일과 그 조정률을 나타낸 것이다. 이 전기요금 개정추이 자료로부터 국내의 전기요금 개정일과 전체평균 요금 조정률, 계약 종별 요금 조정률 등을 알 수 있다.

표 4 전기요금 개정추이(일부)

Table 4 Change history of electricity price (part)

일시	조정률
...	
1995. 5. 1	4.2% 인상(종합 평균)
1997. 7. 1	5.9% 인상(종합 평균)
1998. 1. 1	6.5% 인상(전 종별 동률)
...	

### 4.2.4 물가지수

이 연구에서는 물가지수의 디플레이터 기능을 이용하였다. 예를 들어 전력요금에 1980년의 100원에서 1990년에는 200원으로 100% 상승하고 1980년부터 1990년 사이의 소비자물가지수는 20% 상승한 경우, 소비자 물가지수를 반영하여 실질증가율을 계산하기 위해 1990년의 요금 200원을 상승한 소비자 물가지수 1.20으로 나누면 1980년의 가치로 환산된 166.7원의 실질요금에 계산된다. 그러므로 이 기간 중 실질가치로 본 요금상승률은 66.7%가 되어 명목요금 상승률인 100%보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 전력을 사용하는 소비자 입장에서는 100원이 아닌 66.7원 만큼의 인상효과가 있게 되는 것이다. 즉, 같은 액수의 돈이라도 어떤 시점이나에 따라 그 가치가 틀리므로 물가지수를 사용하여 모든 해에 있어서의 돈의 가치를 동일하게 만든다.

### 4.3 경쟁전력시장의 가격부하모형 추정 방법

경쟁전력시장의 입찰자료와 수요탄력성을 가지고 모선별 가격부하모형의 계수를 직접 찾기 위한 알고리즘은 편차 제곱의 총합의 최소화를 수행함으로써 변수를 결정하게 되는 최적화 기법에 의해 다음과 같이 수식적으로 정식화할 수 있다.

$$\text{Min. } \sum_r \sum_k \sum_l \sum_m \sum_h [L_{k,l,m}^{actual}(P_{ij}) - L_{k,l,m}(P_{ij})]^2 \quad (7)$$

$$j = 1, 2, \dots, n_d$$

$$\text{subject to : } e_r^{\min} \leq e_r \leq e_r^{\max}, \quad r = 1, 2, \dots, n_r$$

단,  $L_{k,l,m}^{actual}(P_{ij})$  :  $P_{ij}$ 에서 계절별, 일형식별, 지역별 실제 모선별 전력부하

$L_{k,l,m}(P_{ij})$  :  $P_{ij}$ 에서 지역별, 계절별, 일형식별로 가격

부하모형에 의해 추정된 부하

$P_{ij}$  : j일 t시간의 시장요금

$k, l, m, h$  : 지역, 계절, 일형식, 시간

$n_d$  : 지역별, 계절별, 일형식별 일별 자료의 개수

$e_r$  : 용도별 수요탄력성

$n_r$  : 용도별 개수

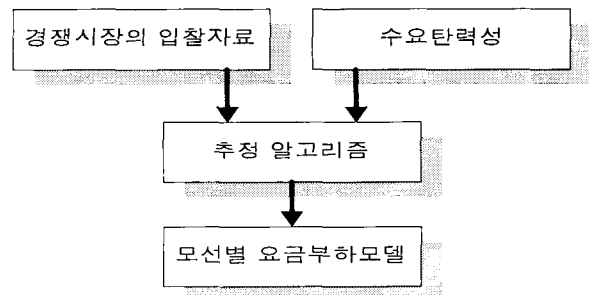


그림 11 경쟁전력시장의 가격부하모형 추정 흐름도

Fig. 11 Flowchart of price sensitive load model presumption in competitive electricity market

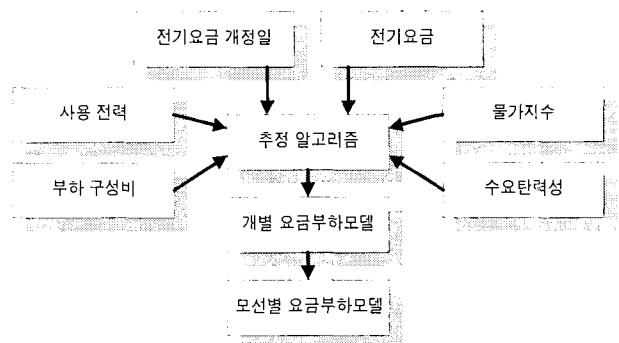


그림 12 수직독점체제의 가격부하모형 추정 흐름도

Fig. 12 Flowchart of price sensitive load model presumption in vertically integrated environment

즉, 어떤 시점의 전력요금에서 수요탄력성을 만족하면서 실제 모션에서의 전력부하와 가장 가까운, 제안된 가격부하모형을 통해 얻어지는 부하의 계수를 찾는 것이다. 모션 기준에서의 용도별 수요탄력성은 앞서도 언급했듯이 지역별, 계절별, 일형식별, 시간별 수요탄력성이 아닌, 시간대별로 합한 개념이기 때문에 요금에 따른 공급 및 수요량 등의 연간 자료를 반영하기 위해, 요금에 대한 부하의 변화율인 수요탄력성이 요금-부하의 그래프에서의 기울기인 모션 가격부하모형의 1계 미분과 같다는 점을 이용하여 다음의

$$e_r = \frac{1}{n_k n_l n_m n_h} \sum_k \sum_l \sum_m \sum_h \frac{dL_{k,l,m}(P_{ij})}{dP_{ij}} \quad (8)$$

단,  $n_k, n_l, n_m, n_h$  : 지역별, 계절별, 일형식별, 시간별로 분류된 개수

와 같이 용도별 수요탄력성  $e_r$ 을 정의할 수 있으며 수요탄력성의 평균적인 개념에 따른 오차와 수요탄력성 값 자체의 계산상 오차로 인해 그 유의수준에 따라 범위  $e_r^{\min}, e_r^{\max}$ 가 결정된다. 이 과정을 흐름도로 나타내면 그림 11과 같다.

#### 4.4 수직독점체제의 가격부하모형 추정 방법

수직독점체제 하의 가격부하모형을 추정하기 위해 국내의 자료를 이용한 가격부하모형 추정과정의 전체적인 개요는 그림 12와 같다. 흐름도에서 보는 바와 같이 개별 가격부하모형을 추정하기 위해서는 우선 6가지의 입력자료가 필요하고, 이 자료들로부터 추정 알고리즘을 수행하면 기기별 가격부하모형이 얻어지며 그림 1의 구조를 통해 모션별 모형을 확립하게 된다.

어떤 시점의 전력요금에서 개별 부하  $i$ 의 가격부하모형을 용도별 개별 부하의 구성비로써 가중하여 용도별 가격부하모형을 구한 후, 모션별 용도별 부하구성비를 이용하여 모션별 가격부하모형까지 확장시킨다. 이를 실제 모션별 전력부하와 비교하여 서로간의 편차 제곱의 총합을 최소로 하는 최적화기법을 통해 개별 가격부하모형의 계수를 찾게 되며, 이와 같은 과정을 수식으로 정식화하면 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_r \sum_m [L_{l,m}^{b,actual}(P_r^b) - \sum_r \sum_i C_{l,m,r}^b C_{l,m,i}^r L^i(P_r^b)]^2 \quad (9)$$

$$\text{subject to : } e_r^{\min} \leq e_r \leq e_r^{\max}, \quad r=1,2,\dots,n_r$$

단,

$L_{l,m}^{b,actual}(P_r^b)$ :  $P_r^b$ 에서 모션 b의 계절별, 일형식별 부하

$L^i(P_r^b)$ :  $P_r^b$ 에서 개별부하 i의 가격부하모형

$P_r^b$ : 모션 b의 용도 r의 전력요금

$C_{l,m,r}^b$ : 모션 b의 계절별, 일형식별 용도별 부하구성비

$C_{l,m,i}^r$ : 용도 r의 계절별, 일형식별 개별 부하구성비

$b, r, i$ : 모션, 용도, 개별 부하

여기서 제약조건으로 주어진 수요탄력성은 개별모형을 통해 모션별 모형로 확장된 계절별 일형식별 가격부하모형의 1계 미분과 같다는 점을 이용하여 다음과 같이 용도별 수요탄력성  $e_r$ 을 새롭게 정의한다.

$$e_r = \frac{1}{n_l n_m} \sum_l \sum_m \frac{d}{dP_r^b} \left( \sum_r \sum_i C_{l,m,r}^b C_{l,m,i}^r L^i(P_r^b) \right) \quad (10)$$

한편, 입력자료선정에 있어 계절적 기기의 경우는 다음과 같은 문제를 내재하고 있는데, 초여름인 1982년 7월 10일의 요금 인상과 같이 계절적 영향에 의해 요금인상 후의 냉방기기의 사용이 오히려 늘어날 수 있는 경우가 있으며, 냉방기기의 사용전력이 전무한 겨울(예를 들어, 1998년 1월 1일의 요금 인상)의 자료는 냉방부하의 가격부하모형 추정 근거 자료가 되지 못한다. 따라서 식(9)의 목적함수를 다음과 같이 전환한 후 각 계절별로 알고리즘을 수행하여 추정한다.

$$\text{Min.} \sum_m [L_{l,m}^{b,actual}(P_r^b) - \sum_r \sum_i C_{l,m,r}^b C_{l,m,i}^r L^i(P_r^b)]^2 \quad (11)$$

$$\text{subject to : } e_r^{\min} \leq e_r \leq e_r^{\max}, \quad r=1,2,\dots,n_r$$

또한 제약조건인 용도별 수요탄력성도 다음의 식(12)와 같이 바뀌게 된다.

$$e_r = \frac{1}{n_m} \sum_m \frac{d}{dP_r^b} \left( \sum_r \sum_i C_{l,m,r}^b C_{l,m,i}^r L^i(P_r^b) \right) \quad (12)$$

## 5. 사례연구

### 5.1 경쟁전력시장의 가격부하모형

본 연구에서는 국내에 경쟁이 도입된 후의 모션별 가격부하모형에 대한 사례로서 CalPX의 겨울 일요일의 입찰 자료 [17]를 사용하여, CalPX의 겨울 일요일 가격부하모형을 추정하였다. 제약조건으로 사용되는 수요탄력성은 5%의 유의수준으로 추정하였으며, 계산은 MATLAB 프로그램의 최적화 내장모듈인 CONSTR를 이용하였다.

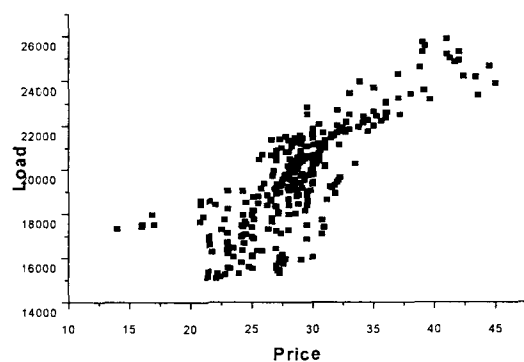


그림 13 Cal PX의 겨울 일요일 시장요금과 거래전력  
Fig. 13 Price and demand of CalPX in winter Sunday



$$L = 29595.07564 - 176.94169P - 133.87243P^2 + 8.69325P^3 - 0.18561P^4 + 0.00132P^5 \quad (13)$$

그림 13은 근거자료로 사용한 CalPX의 겨울(12월부터 2월)까지의 일요일 시장요금과 거래전력을 나타낸 그래프이다. 이 자료를 추정알고리즘의 입력자료로 사용하여 요금에 대한 수요탄력성 조건을 만족하면서 겨울 일요일 시장요금의 실제 전력부하와 가장 가까운, 제안된 가격부하모형을 통해 얻어지는 부하의 계수를 찾도록 하였다. 결과로서 추정된 겨울 일요일 가격부하모형은 다음 식(13)과 같고 이 모형의 요금에 대한 특성그래프를 그리면 그림 14와 같다.

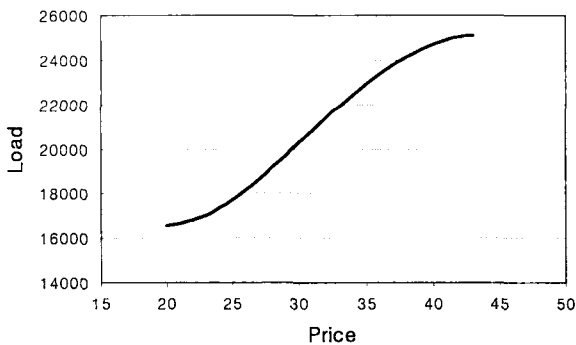


그림 14 추정된 겨울 일요일 가격부하모형 특성 그래프  
Fig. 14 Graph of presumed price sensitive load model in winter Sunday

제안된 5차 다항식의 가격부하모형이 그림 13의 경쟁시장에서의 시장요금과 거래전력의 관계를 잘 나타내주고 있음을 결과에서 확인할 수 있다.

표 5 물가지수로 조정된 전기요금  
Table 5 Electricity price calibrated by price index

요금개정일	구분	전기요금	물가지수	조정된 요금
1995.5.1	개정전	100.0	100.0	100.0
	개정후	104.2	100.0	104.2
1997.7.1	개정전	104.2	109.6	95.1
	개정후	110.3	109.6	100.6
1998.1.1	개정전	110.3	117.8	93.6
	개정후	117.5	117.8	99.7

5.2 수직독점체제의 가격부하모형

상업용 조명부하의 개별 가격부하모형 추정을 위해, 1995년의 전기요금과 물가지수를 100으로 했을 때 불변가 개념으로 환산된 전기요금은 표 5와 같으며 계산의 편의를 위해 1997년 7월 1일(여름)의 개정만을 살펴보도록 하였다. 단,  $P^b$ 에서 모선 b의 계절별, 일형식별 실제 부하  $L_{i,m}^{b,actual}(P^b)$ 을 선택하는데 있어 전기요금 개정일 전후 한 달간의 자료만을

알고리즘의 입력자료로 사용하는데, 이는 요금이 바뀌기 직전과 바뀌고 난 직후의 소비행태 변화를 보기 위함이다. 왜냐하면, 요금 개정 후 상당 시간이 경과되면 요금 개정의 영향이 상쇄될 것이기 때문이다. 그러나 한 달이라는 기간을 선정한 별도의 근거가 없으므로 추후 이에 대한 자료 보완이 이루어져 정확한 기준이 마련되어야 할 것이다.

표 6 일형식별 사용전력과 전기요금[p.u.]  
Table 6 Electricity price and demand of electricity categorized by day type

년월	일형식별 사용전력					요금
	월요일	근무일	토요일	일요일	국경일	
97.6	1.022	1.020	0.985	1.004	0.876	0.974
97.7	0.978	0.980	1.015	0.996	1.124	1.026

또한, 모선에서의 용도별 구성비는 용도별 판매전력량을 근거로 산출된 전국의 대표 부하구성비인 주거용 17.7%, 상업용 28.4%, 산업용 53.9%와 평균적으로 가장 근사한 구성비를 보이는 한국전력 부산전력관리처 엄궁변전소의 부하구성비 결과(표 7)[18]를 일형식과 시간에 상관없이 동일하다고 가정하여 사용하였고, 표 8과 같이 상업용의 대표 부하군은 3개로 간략화 한 뒤 개별 부하구성비는 각 일형식에서 시간에 관계없이 동일하다고 가정하였으며[19], 경쟁시장의 경우와 마찬가지로 수요탄력성은  $\pm 5\%$ 의 유의수준으로 하였고, MATLAB 프로그램의 최적화 내장모듈인 CONSTR을 이용하여 계산하였다.

표 7 부산전력관리처 엄궁D/L 여름 부하구성비[%]  
Table 7 Summer load mix ratio of Umgung distribution line substation [%]

	주거용	상업용	산업용
구성비	19.4	34.7	45.9

표 8 상업용 일형식별 부하구성비  
Table 8 Load mix ration of commercial load categorized by day type

일형식	대표부하군		
	조명	동력	기타
월요일	29.0	37.9	33.1
근무일	29.1	37.8	33.1
토요일	29.2	37.8	33.0
일요일	29.2	38.0	32.8
국경일	28.9	37.9	33.2

결과로서 추정된 상업용 조명 가격부하모형은 다음 식(14)와 같고 그 특성그래프인 그림 15는 x, y축 모두 단위분을 값이며, 앞서 살펴본 부하가 증가하면 요금이 상승하는 요금-거래전력의 추이를 보여주고 있다.

$$L = 0.3258 + 0.3326P + 0.6173P^2 - 0.2106P^3 - 0.1084P^4 + 0.0435P^5 \quad (14)$$

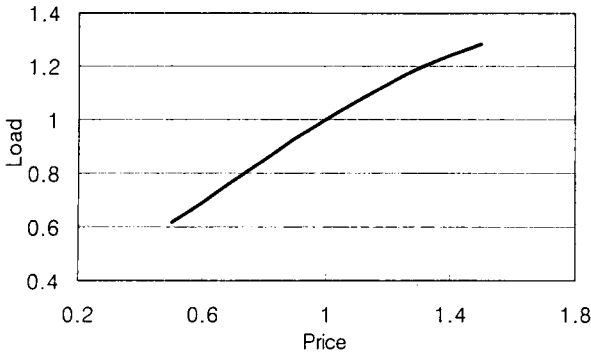


그림 15 추정된 상업용 여름 조명 가격부하모형  
 Fig. 15 Presumed price sensitive load model of commercial lighting load in summer

6. 결 론

이 논문은 기존의 부하구성비 연구 결과를 이용하여 전력 이 시장에서 거래되는 상황을 반영하게 될 가격에 따른 모 선별 가격부하모형 수립을 위한 구조를 제안하고, 전력계통 의 안정도해석에 주로 사용하기 위하여 수립되었던 전압과 주파수의 변화에 따른 유·무효전력의 변화를 모형화한 부 하모형의 특성이 경쟁전력시장의 요금-거래 전력의 특성과 유사한데서 착안하여 5차 다항식 형태의 부하 구성성분별 가격부하모형을 제시하였다. 한편, 요금에 대한 응답특성은 실험을 통해 찾아낼 수 없으므로 국외 경쟁전력시장의 자료 를 이용하여 경쟁체제가 도입된 전력시장에서의 가격부하모 형을 추정하는 알고리즘과 경쟁체제 도입 전인 국내 전력시 장의 자료를 사용하여 수직독점체제의 가격부하모형을 추정 하는 방법을 제안하였다.

앞으로 이 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하고 입력자 료로 사용할, 모선에서가 아닌 개별기에 있어서의 요금과 전력사용 간의 관계, 국외의 부하구성비 등에 관련된 자료 수집과 분석을 통해 모선별 가격부하모형을 확립하고, 이를 이용하여 모선 부하에 대한 요금의 특성을 분석할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 공학공동연구소 주관으로 수행된 과제로서, 관계부처 에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] D. Shirmohammadi, et. al, "Transmission Dispatch and Congestion Management in the Emerging Energy Market Structure," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 4, pp. 1466-1474, Nov. 1998  
 [2] M.L. Baughman, and S.N. Siddiqi, "Real-Time

Pricing of Reactive Power: Theory and Case Study Results," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 1, pp. 23-29, Feb. 1991  
 [3] M.L. Baughman, and W.W. Lee. "A Monte Carlo Model For Calculating Spot Market Prices of Electricity," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 2, pp. 584-590, May 1992  
 [4] J.Y. Choi, S.H. Rim, and J.K. Park, "Optimal Real Time Pricing of Real and Reactive Powers," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 4, pp. 1226-1231, Nov. 1998  
 [5] Petter Skantze, Marija Ilic, and Jeffrey Chapman, "Stochastic Modeling of Electric Power Prices in a Multi-market Environment," IEEE PES Winter Meeting, Jan. 2000  
 [6] 기초전력공학공동연구소, "전력산업 경쟁도입에 따른 요금변화에 대한 부하모델수립 및 DSM 프로그램에 미치는 영향 평가에 관한 연구," 1차년도 중간보고서, 2000. 10  
 [7] 최준영, 김정훈, "다항식 전력 가격 부하 모형," 대한전 기학회 하계학술대회 논문집 (A), pp. 556-558, 2001. 7  
 [8] J.Y. Lim, J.H. Kim, J.O. Kim, and Chanan Singh, "Application of Expert System to Load Composition Rate Estimation on Algorithm," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 3, pp. 1137-1143, Nov. 1999  
 [9] IEEE Commit Report, "System Load Dynamics," IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-92, No. 2, pp. 600-609, March/April 1973  
 [10] University of Texas at Arlington, "Determining Load Characteristics for Transient Performance," EPRI Report, EL-849, 1979  
 [11] General Electric Co., "Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Computer Studies," EPRI Report, EL-5003, Jan. 1987  
 [12] 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 안정도 해석을 위한 적정 부하모델에 대한 연구," 1990. 10  
 [13] 한국전력공사 전력연구원, "전력계통 안정도 정밀해석을 위한 적정 부하모델에 대한 연구," 최종보고서, 2001. 3  
 [14] 한국전력공사 전력경제처, "대형건물 정밀 진단 및 절 전감제량 조사," 1997. 9  
 [15] 에너지경제연구원, "전력수요의 가격탄력성과 요금조 정방안," 1996  
 [16] 산업자원부, "에너지 통계 연보," 1999  
 [17] California Power Exchange website, <http://www.calpx.com>  
 [18] 박시우, 김기동, 윤용범, 추진부, "한전계통의 부하구성 비 분석," 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (C), pp.1478-1480, 1999. 7  
 [19] M.H. Han, W.S. Wee, J.H. Kim, and J.B. Choo, "A Study on the Load Composition Rate Estimation Algorithm," ICSEE2K Proceeding, pp. 886-889, July 2000

저 자 소 개



**최 준 영 (崔 峻 榮)**

1963년 7월 9일생. 1986년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1994년~1996년 LG전자 연구원. 1996년~현재 전주대학교 공학부 조교수.

Tel : 063-220-2657, Fax : 063-220-2750

E-mail : joon@jeonju.ac.kr



**김 정 훈 (金 正 勳)**

1955년 9월 13일생. 1978년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1981년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수. 현 대한 전기학회 사업이사 및 용어위원회 위원장.

Tel : 02-320-1621, Fax : 02-320-1110

E-mail : kimjh@hongik.ac.kr