

다항식 전력 가격 부하 모형

최준영, 김정훈
전주대학교, 홍익대학교

Polynomial Type Electricity Price Load Model

Joon-Young Choi,
Jeonju University.

Jung Hoon Kim
Hongik University

Abstract - 전압 주파수 부하 모형 추정에 사용되어 이전의 정임피던스, 정전류, 정전력 부하모형에 비해 향상된 결과를 얻었던 다항식형 부하 모형을 전력가격 부하 모형에도 적용하여 새로운 다항식 부하 모형을 제안하고, 우리나라의 전력 가격과 사용량 자료를 이용하여 부하 모형의 계수를 결정하였다. 부하의 종류별, 시간대별로 추정된 부하 모형에 부하의 구성 비율을 가중하면 결국 전체 부하 모형이 구해진다. 구해진 부하 모형은 전력 시장이 도입된 경쟁체제에서 전력의 가격 결정에 사용될 수 있을 것이다.

1. 서 론

세계적으로 전력 산업의 수직 통합구조가 해체되고 전력 시장을 중심으로 하는 경쟁 구조가 도입되고 있다. 우리나라도 단계적으로 수직 통합구조를 해체하고 최종적으로는 모든 단계에서 경쟁을 도입할 예정으로, 현재 발전을 분리하는 것을 시작으로 전력산업의 구조를 바꾸고 있는 중이다. 이에 따라 앞으로 전력은 시장에서 수요와 공급의 양측 입찰에 의해 가격이 결정될 것이며 소비자 들은 변동하는 가격의 전력을 구입하여 사용해야 하는 입장이 되었다. 전력 시장에서 전기의 가격이 변동할 때, 수요와 공급의 변동에 의한 전력 수급의 균형이 어떻게 이루어질 것인가 하는 것은 상당한 관심의 대상이지만 이를 예측해 볼 수 있는 방법은 별로 없었다. 가격이 변화할 때 공급의 변화를 대표할 수 있는 전력 공급 모형은 비용에 기초를 한 형태로 존재하지만, 전력 수요 모형은 쉽게 계산에 적용시킬 수 있는 형태의 모형이 아직 존재하지 않기 때문이다.

이 연구에서는 시장 참여자 중 하나인 전력 수요자의 전력 가격과 수요량과의 관계를 규정하는 전력 가격 부하 모형을 제안한다. 이 모형은 수요와 공급의 계산에 이용하기 쉬운 형태일 뿐만 아니라 간단한 기기의 수요함수 또는 단일 소비자의 수요함수로부터 집합적인 부하군, 또는 전력 계통의 한 모선 전체의 수요함수를 쉽게 구해 낼 수 있는 장점이 있다. 모선 전체의 수요 함수를 각각 용도별 수요 함수를 구해내는 계산은 단일 수요함수 계수의 덧셈만으로 이루어진다.

사례연구에서는 제안된 다항식 전력 가격 수요모형의 계수를 추정하였다. 먼저 최적화기법을 이용하여 우리나라의 부하의 구성비를 추정하고, 용도별 수요모형을 구한 후 이들을 가중하여 임궁변전소 모선의 수요모형을 찾아 냈다.

2. 본 론

2.1 부하의 분류

한국전력공사의 자료에 부하는 17가지로 분류되어 있다. 이는 다시 크게 세 가지로 구분할 수 있는데, 가정용, 상업용, 산업용이 그것이다. 이를 표로 나타냈다.

한국전력공사의 17개 세부 용도	
주거용	주택용, 아파트용, 종합계약아파트, 연립주택
상업용	상업용, 관공용, 국군용, 유엔군용, 가로등, 기타공공용, 사무실 및 기타, 건설용, 전기시험공장, 부속병원, 변전수용
산업용	농사용, 광·공업용

표 1. 용도별 부하 분류

한편, 전력 계통의 부하 구성 비율은 시시각각 변화하므로 공통적인 것을 묶으면 표 2.와 같이 용도별, 계절별, 일형식별, 지역별, 시간별로 분류할 수 있다. 계절별 분류는 기기별 월별 전력 사용량과 최대치, 평균치 및 부하율 등에 근거하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 네 계절로 분류하고, 이 중 5월, 8월, 10월, 그리고 12월을 대표로 선정한다. 일형식은 다섯으로 나누고 지역별 구분은 넷으로 나누며 산업용 부하를 중화학과 경공업으로 세분할 수도 있다. 부하는 많은 기기들로 이루어져 있는데, 이 모든 기기들에 대한 모형을 만드는 것이 가장 바람직 하기는 하지만 현실적으로 어려움이 많으므로 에너지 구성비율이 높은 기기를 주요 부하기기로 선정하고 사용 시간대나 목적이 유사한 부하를 묶어 대표 부하군을 만든다.

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

표 2. 부하의 분류와 대표 부하군

2.2 부하구성비 추정

사용량이 많은 부하에 관한 자료는 상대적으로 입수하기도 쉽고, 신뢰성도 높아서 최적화 기법을 적용하여 부하 구성비를 추정할 수 있으나 사용빈도나 사용 전력량이 적은 부하들은 상대적으로 자료가 적어서 경험적 방법을 써서 구성비를 추정한다. 여기서는 상업용 부하는 최적화 기법을 써서 구성비를 추정하고, 주거용과 산업용은 경험적 방법을 써서 구성비를 추정한다. 구성비를 추정하는 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 부하곡선, 상대계수, 에너지 구성비, 부하군별 신뢰도, 미지부하군의 시간별 상하한 값을 입력한다.
- (2) 부하를 구성하는 각 부하군의 상대 계수와 에너지 구성비를 산출할 수 있고, 신뢰도가 같을 경우 최적화 기법을 이용하여 모든 부하군의 상대 계수를 동시에 조정한다. 이 계수에 의한 용도별, 시간별 전력 및 시간별 전력의 합계를 산출하고 단계(9)로 간다.
- (3) 자료를 얻기 어려운 부하군을 제외하고 용도별, 시간별 전력 및 시간별 전력합계를 계산한다. 이를 같은 시간대의 전체 부하곡선에서 빼서 미지부하군의 시간별 전력을 계산한다.
- (4) 이 값이 상하한 값을 위반하는지 검사한다. 상하한 값이 위반되지 않았다면 (8)단계로 넘어간다.
- (5) 위반한 미지부하의 크기를 상한값 또는 하한값으로 설정한 후 편차를 계산한다. 편차전력이 0이면 (8)단계로 넘어간다.
- (6) 상하한 값이 위반된 시간대를 제외한 나머지 시간대를 부하조정가능 시간으로 설정하고, 이 시간의 조정 가능한 전력의 총합을 계산한다.
- (7) 부하 조정이 가능한 시간대의 전력 총합이 편차전력의 총합보다 큰 경우 이 구간 안에서 가중평균하여 배분하고, 그렇지 못한 경우, 배분하고 남은 전력들을 상하한 값 위반 시간에도 그 시간수로 나누어 배분한다.
- (8) 편차를 다른 시간대로 조정함에 따라 입력자료인 전체 부하곡선이 바뀌게 되면 이를 조정하기 위해 신뢰도 순서대로 다른 부하군을 조정하는 단계(4~7단계)를 반복한다.
- (9) 부하군별 에너지 조건과 시간별 전체 부하 전력의 변화가 없도록 하는 제약조건이 만족되면 용도별 시간별 전력 및 구성비를 출력한다.

2.3 부하모형의 수립

기별 전력 가격 부하 모형이 확립되어 있다면 이것에 앞에서 구한 부하 구성비를 가중해서 합하여 용도별 모형을 얻는다. 각 모션은 용도별 부하들로 구성되어 있으므로 이 용도별 부하들을 더하여 각 모션의 전력 가격 부하 모형을 얻는다.

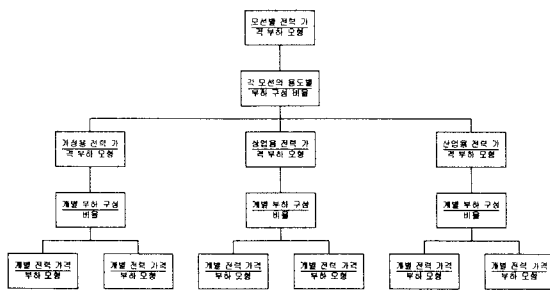


그림 1. 집합적 전력 가격 부하 모형 수립

2.4 다항식 전력 가격 부하 모형

기존에는 지수함수형의 부하 모형만 있었으나 이번에는 5차 다항식의 모형을 제안한다. 5차 다항식 부하 모형은 전압과 주파수를 독립 변수로 하는 부하 모형에 처음 도입되어 사용되었는데, 유효 전력 및 무효 전력 모두 실측치와 거의 일치하는 예측치를 계산해 내는 좋은 특성을 보여주었으며, 특히 5차 다항식으로 표현된 개별 부하를 더하여 용도별, 그리고 모션별 부하 모형을 구할 때 단순한 덧셈으로 계산해 낼 수 있다는 좋은 점이 있다.

$$L_i(P_t) = k_{i0} + k_{i1}P_t^1 + k_{i2}P_t^2 + k_{i3}P_t^3 + k_{i4}P_t^4 + k_{i5}P_t^5$$

여기서 $L_i(P_t)$: i 번째 부하의 가격 부하 모형
 P_t : t 시간의 전력 가격
 $k_{i0}, k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, k_{i4}, k_{i5}$: 부하 i 의 계수

이러한 다항식 형태의 부하 모형은, 단순히 계수들을 더하는 것만으로, 개별 기기의 부하 모형을 가중하여 한 소비자의 부하 모형을 만들 수 있고, 또 소비자들의 부하 모형을 모아서 모션 전체의 전력 가격 부하 모형을 찾아낼 수 있다는 장점이 있다.

2.4 부하 모형 추정 방법

우리나라의 경우 아직 경쟁이 도입되지 않은 상태이므로 전력의 가격 변동에 따른 전력량 변동에 대한 자료는 없다. 이 경우 요금 조정에 따른 부하 변동만이 있는데, 요금이 변동되는 시기의 수요 변동을 분석하여 전력 가격 부하 모형을 만들 수 있다. 현재 사용 가능한 자료로는 우리나라의 전기요금 변화, 물가변화, 전력사용량 증가율을 이용하여 요금에 대한 수요 탄력성을 계산해보고, 부하구성비 추정 결과를 이용하여 개별 전력 가격 부하 모형을 만들어 본다.

2.5 부하 모형 추정 자료

전력 가격 부하 모형을 추정하는 데 필요한 자료로는 전기 요금 개정 추이, 물가 지수, 전력 수요의 증가율, 전력의 가격에 대한 수요 탄력성, 계절별, 일형식별 전력 부하의 크기 변화, 그리고 부하 구성 비율이 있다. 전기 요금은 1972년부터 1999년까지 약 30여 차례 바뀌어 왔는데, 매년 약 5% 정도씩 인상되어 왔다. 물가 지수는 명목 가치를 실질 가치로 환산시키는 기능을 하는 지수이다. 최근 9년 동안의 소비자 물가지수는 다음과 같다.

년도	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
지수	80.9	86.0	90.1	95.7	100	105	110	118

표 3. 소비자 물가지수 (1991 ~ 1998)

우리나라에서 전력의 소비는 매년 약 10% 정도씩 가파르게 증가하고 있다. 이는 경제 성장률보다 더 큰 수치로서 이러한 추세는 앞으로도 상당기간 계속될 것으로 보인다. 부하 모형을 유도하려고 할 때, 이 점을 고려하여 모형을 만들어야 좀 더 정확한 모형이 될 것이다. 이는 특히 수요 탄력성과 함께 고려되어야 하는데, 이렇게 큰 성장률을 무시하면 수요 탄력성이 음의 값을 갖는 경우도 나타난다. 전기 요금은 올랐지만 전기 수요는 오히려 증가하는 현상, 즉 수요 탄력성이 음의 값을 갖는 현상은 자연적이고 강력한 수요증가로서 설명할 수 있을 것이다.

이와 더불어 계절별, 일형식별 전력 부하, 그리고 부하의 구성 비율도 모두 고려되어야 한다.

2.6 부하 모형 추정 알고리즘

실측치와 예측치의 오차를 최소로 만드는 최적화 문제로 정식화한다. 수식으로 쓰면 다음과 같다. 목적함수는

$$\text{Min} \sum_j \sum_k \left[L_{j,k,t}^{b, \text{actual}} - \sum_r \sum_l C_{j,k,r,l}^b C_{j,k,r,l}^l L(P_t^r) \right]^2$$

단 $L_{j,k,t}^{b,actual}$: P_r^b 에서 모선 b 의 지역적, 일형식별, 시간별 실제 부하

$L(P_r^b)$: P_r^b 에서 개별 부하 i 의 전력 가격 부하 모형

P_r^b : 모선 b 에서 용도 r 의 전력 가격

$C_{j,k,t,r}^b$: 모선 b 에서 지역별, 일형식별, 시간별, 용도별 부하 구성비

$C_{j,k,t,i}^r$: 용도 r 에서 지역별, 일형식별, 시간별, 개별 부하 구성비

b, r, i : 모선, 용도, 개별 부하

j, k, t : 지역, 일형식, 시간

이다. 그리고 제약조건은 용도별 수요 탄력성 e_r 이 상하한의 제약 범위를 가지고 있다는 것이 된다. 즉

$$e_r^{\min} \leq e_r \leq e_r^{\max}, \quad r = 1, 2, L, n_r$$

단 n_r : 용도별 부하의 수

이 된다.

2.7 사례 연구

주거용 8개, 상업용 5개, 그리고 산업용은 4개의 대표 부하군으로 구성되었다고 가정하고, 입력자료는 한국전력공사의 보고서를 근거로 하여 산출하였다. 1995년의 전력 요금과 물가지수를 100으로 했을 때, 불변가로 환산된 전력 요금은 표 4.에 나타났다.

요금개정일	구분	전기요금	물가지수	조정 요금
1995.5.1	개정 전	100.0	100.0	100.0
	개정 후	104.2	100.0	104.2
1997.7.1	개정 전	104.2	109.6	95.1
	개정 후	110.3	109.6	100.6
1998.1.1	개정 전	110.3	117.8	93.6
	개정 후	117.5	117.8	99.7

표 4. 물가지수로 조정된 전기 요금

P_r^b 에서 모선 b 의 계절별, 일형식별, 실제 부하 $L_{j,k}^{b,actual}$ 을 선택하는데 있어 전기요금 개정일 전후 한 달간의 자료를 사용하였다.

또한, 용도별 구성비는 전국의 대표 부하 구성비와 평균적으로 가장 근사한 구성비를 보이는 한전 부산 전력관리처 업무 변전소의 겨울 및 여름 부하 구성비를 모든 일형식과 시간에서 동일하다고 가정하였고, 제약조건인 수요탄력성의 유의수준은 5%, MATLAB 프로그램의 최적화 내장 모듈 CONSTR로 계산하였다.

	주거용	상업용	산업용
구성비	18.5	29.1	52.4

표 5. 부산전력관리처 업무변전소 겨울 부하구성비

추정 알고리즘을 이용하여 구한 미국 캘리포니아 전력 거래소의 겨울 전력 가격 부하 모형은 아래와 같다.

$$L = 0.575 + 0.280P + 0.104P^2 + 0.016P^3 - 0.007P^4 + 0.024P^5$$

	주거용	상업용	산업용
구성비	19.4	34.7	45.9

표 6. 부산전력관리처 업무변전소 여름 부하구성비

추정 알고리즘을 이용하여 구한 업무변전소의 여름 전력 가격 부하 모형은 아래의 식과 같다.

$$L = 0.326 + 0.333P + 0.617P^2 - 0.211P^3 - 0.108P^4 + 0.044P^5$$

3. 결 론

이 논문에서는 향후 전력산업에 있어 경쟁시장의 도입으로 시장경계가 확립되어 일반 경제법칙인 수요공급곡선에 의해 전력가격이 결정되는 전력시장에 대비하기 위해 기존의 부하구성비 추정 방법을 이용하여 부하의 종류별 구성비를 추정하고, 이를 가중하여 용도별 전력 소비자 모형을 구해 내는 전력 가격 부하 모형 수립 과정을 제안하고, 부하 모형의 형태로는 지금까지 주로 제안되었던 지수함수 형태가 아니고, 전압 주파수 부하모형에 이용하여 좋은 결과를 보았던 5차 다항식 형태를 제안한다.

제안한 모형의 정확성을 확인하기 위해 부하의 구성비를 추정하고, 우리나라 전력 요금의 개정추이 자료, 물가지수, 전력량에 관한 자료 등을 이용하여 전력 가격 부하 모형을 찾아내고, 이를 이미 전력시장이 도입되어 전력의 가격이 수요와 공급량에 따라 바뀌는 미국 캘리포니아 전력 거래소의 자료에 적용시켰고, 우리나라의 업무 변전소의 부하 자료를 이용한 사례연구를 하였다.

앞으로는 이 논문에서 제안한 알고리즘의 입력자료로 사용할 다양한 외국 경쟁시장의 전력 가격과 전력량간의 자료, 부하 구성비와 같은 자료를 수집하고 분석하여 모선별 전력 가격 부하 모형을 확립하고, 이를 이용하여 모선 부하에 대한 전력 가격과 시장에 대한 구체적인 분석을 하려고 한다.

(참 고 문 헌)

- (1) 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 안정도 해석을 위한 적정 부하모델에 관한 연구," 1990, 10
- (2) 한국전력공사 전력연구원, "전력계통 안정도 정밀해석을 위한 적정 부하모델에 관한 연구," 1차년도 중간보고서, 2000, 2
- (3) 한국전력공사 전력경제처, "가전기기 보급률 조사연구," 1997, 12
- (4) 한국전력공사 전력경제처, "가전기기별 전력소비행태 조사," 1995
- (5) 한국전력공사 전력경제처, "조명기기 보급 실태조사," 1994, 8
- (6) 한국전력공사 전력경제처, "전사식전력량계에 의한 부하 분석," 1999, 6
- (7) 에너지경제연구원, "전력수요의 가격탄력성과 요금조정방안," 1996
- (8) 한국전력공사 전원계획처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집," 1997, 10
- (9) 한국전력공사 전원계획처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집 II," 1999, 2
- (10) 박시우, 김기동, 윤용범, 추진부, "한전계통의 부하구성비 분석," 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (C), pp. 1478-1480, 1999, 7
- (11) 김주락, 최준영, 김정훈, "새로운 전력 부하모형," 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (A), pp. 289-291, 2000, 7