

수요 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 미치는 영향

김문영* 백영식* 송경빈**
*경북대학교 **계명대학교

The effects of spot pricing for the change of the electric power demand based the demand elasticity

Moon-Young Kim* Young-Sik Baek* Kyung-Bin Song**
*Kyungpook National University **Keimyung University

Abstract - The variations of real time electric price in competitive electricity markets have influence on electric power demands of the consumers. Residential, commercial, and industrial consumers with different characteristics cause the different price elasticity of the demand due to changing the pattern of consumption. Therefore, this paper calculate the elasticity of each loads and analysis the effects of electric power demands and spot pricing as a function of elasticity in competitive electricity market.

대개, 수요곡선이 가격에 대해 감소하는 기울기를 갖기 때문에 가격의 변화는 증가한 가격에서 원래의 가격의 차로 식(2)와 같이 양의 값을 가지고, 수요량의 변화는 가격 변화에 대해 감소함에 따라 식(3)과 같이 음의 값을 가지는 상반되는 부호를 가지고 있으므로 식(1)에서와 같이 (-)부호를 붙여 탄력성의 값이 양이 되도록 해준다. 따라서, 수요 탄력계수가 양의 값이면 수요의 감소를 나타내고 음의 값이면 수요의 증가를 의미한다.

1. 서 론

전력시장이 자유화됨에 따라 실시간으로 전력가격이 변화하게 되며 전력 소비자들은 유동적인 전력가격을 지불하게 된다.[1,2] 따라서, 전력가격에 대한 관심이 높아지며 전력가격에 따라 전력소비 형태의 변화가 예상된다. 경쟁적인 전력시장에서 전력가격의 변화는 공급자와 소비자의 전력가격에 대한 이해가 높아져 자기 자신의 욕구를 충족하면서 자신의 이익을 최대로 하는 행동으로 이어지게 된다. 전력가격에 대한 영향을 단기적인 면에서 볼 때, 어떤 소비자들은 어떤 시간대의 전력가격이 그들이 기대했던 전력가격에 비해 높으면 소비자들은 전력수요를 재계획 혹은 재편성하거나 수요를 감소하려는 경향을 가진다. 따라서, 전력의 소비는 전력시장 참여자들에 의해 실시간으로 변화하게 되며 전력가격의 전력소비자에 대한 영향은 소비자들로 하여금 전력수요에 대한 탄력성(demand elasticity)을 가지게 한다.[3,4] 전력소비 형태는 산업용, 상업용 및 주거용으로 크게 구분되며 이들은 전력가격 변화에 따라 각각 다른 특성을 나타낸다. 즉, 각기 다른 수요 탄력성을 갖는다. 따라서, 각 용도에 따른 수요 탄력성은 부하의 변화를 유도하고 전력시장에서 현물가격(spot pricing)에 영향을 주게 된다.

그러므로, 본 논문에서는 우리 나라의 전력수요를 가정용, 산업용, 상업용 부하로 구분하여 그들이 전력가격 변화에 따른 전력수요의 변화가 어느 정도인가에 대한 척도로서 전력수요의 탄력성을 조사하고, 경쟁적 전력시장의 구조에서 전력 수요자의 수요 탄력성에 의한 현물가격의 영향을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전력수요 탄력계수

전력수요의 탄력계수는 전력가격에 변화가 발생했을 때 가격 변화율에 대한 전력 수요량 변화율의 상대적 크기를 의미하며, 개별 부하 i의 전력수요 탄력성은 다음과 같이 일반적으로 나타낸다.

$$e_i = - \frac{\text{전력수요량의 변화율}}{\text{전력가격의 변화율}} = - \frac{\Delta q/q_0}{\Delta p/p_0} \quad (1)$$

$$\Delta p = p - p_0 \quad ; \quad \Delta p > 0 \quad (2)$$

$$\Delta q = q - q_0 \quad ; \quad \Delta q < 0 \quad (3)$$

전력수요의 탄력계수를 산출하기 위해 사용된 자료들은 통계청 자료를 바탕으로 전력가격의 변화를 나타내는 생산자 물가지수(전력)와 각 용도별에 따른 전력 수요량을 이용하였다. 전력가격의 변화는 우리 나라의 전력가격 인상을율로 기초로 하였다. 90년대 이후 전력가격의 개정 현황은 표 1과 같다. 전력가격의 변화는 표 1을 바탕으로 하여 전력가격의 인상 전·후의 인상율(%) 차로써 계산한다. 전력 수요량의 변화 계산은 전력가격 인상 전·후 월별 수요량 차이의 변화율(Δq)에서 과거 전력가격의 인상이 없었던 같은 월별 수요량의 자연 증분을(Δq_n)을 제외한 값으로 식(4)와 같이 계산한다.

$$\Delta q_{new} = \Delta q - \Delta q_n \quad (4)$$

이와 같은 방법으로, 전력가격의 인상이 있었던 달로부터 6개월간의 전력 수요량의 변화율을 각각 계산하여 전력수요의 변화율을 산출하였다. 표 2는 전력가격이 인상된 연도의 각 용도별 부하에 대한 평균 탄력계수값을 나타낸 것이다.

90년 이후 우리 나라 전력가격에 대한 전력수요 탄력성은 전체적인 평균으로 볼 때, 가정용인 경우는 0.05, 상업용인 경우는 0.026이고, 산업용인 경우는 0.1정도 로써 가격에 대한 수요 탄력은 모두 비탄력적이고 산업

표 1. 90년대 이후 전력가격 인상 현황

날 짜	전력가격 인상율
98년 1월	7 %
97년 7월	6 %
95년 5월	4.2 %
92년 2월	5.6 %
평균 인상율	5.7 %

표 2. 전력가격이 인상된 연도의 각 용도별 부하에 대한 평균 탄력계수 값

	92년도	95년도	97년도	98년도	전체평균
가정용	0.078622	-0.05399	-0.02576	0.203464	0.050584
산업용	0.124248	0.0891	0.023455	0.172317	0.10228
상업용	-0.24833	0.022019	-0.05291	0.384312	0.026273

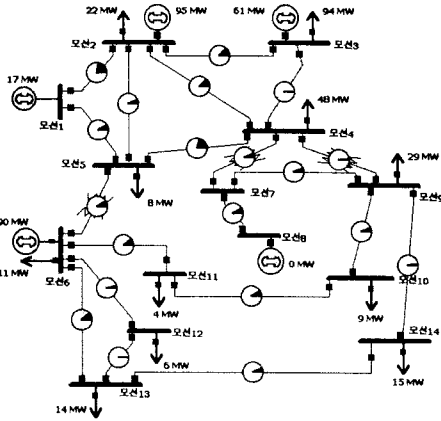


그림 1. IEEE 14 예제 모선

용 부하인 경우가 가정용과 상업용에 비해 가격 인상에 따른 전력수요의 감소가 보다 큰 것으로 더 탄력적임을 알 수 있다. 우리나라의 가격에 따른 수요 탄력계수의 추정 결과는 비탄력적이고 전력가격의 상승과 더불어 오히려 전력수요가 증가하는 음의 값을 가지는 경향을 볼 수 있다. 이는 선진국과 같이 경제성장이 안정적일 경우는 전력가격 인상에만 따른 전력수요의 변화를 파악할 수 있지만, 우리나라는 경제개발과 성장단계이므로 경제성장률과 같은 여러 가지 내생적인 문제들을 포함하고 있고 국내의 전력가격의 결정이 정책요금이기 때문에 수요와 공급에 의해 결정되는 시장가격이 아닌데서 비롯된 것이다. 따라서, 국내의 전력수요의 탄력성 결과는 이와 같은 문제를 내포하고 있으므로 차후에 보다 많은 연구가 필요할 것이다.

2.2 탄력계수의 구성(탄력행렬)

경쟁시장에서 가격변화에 의해 소비자들이 수요 탄력성에 따라 수요가 어떻게 변화되는가를 조사하기 위해서는 실시간으로 변하는 가격에 대한 실시간 탄력계수의 값들을 구성하는 탄력행렬을 형성하여야 한다. 이 탄력행렬의 형태는 참고문헌(3)의 이론을 기반으로 하여 구성하였다. 하루 24시간 구간에 대한 전력가격의 변화에서, 임의의 시간 a에서의 전력가격이 전력 소비자가 기대한 가격보다 높을 때 a시간에서의 전력가격과 탄력계수의 곱으로써 전력수요의 감소를 나타낸다. 이때 수요의 감소 영향을 의미하는 음의 값을 가지는 탄력계수를 "self-elasticity"로써 사용된다. 또한, a시간대의 수요 감소로 인해 다른 시간대인 b시간대에서의 전력수요의 증가를 나타낸다. 이때 수요의 증가 영향을 의미하는 양의 값을 가지는 탄력계수를 "cross-elasticity"로써 사용한다. 이는 다음과 같이 수식적으로 정리된다.

$$\Delta q^a = e_{aa} \Delta p^a ; e_{aa} \leq 0 \quad (5)$$

$$\Delta q^a = e_{ab} \Delta p^b ; e_{ab} \geq 0 \quad (6)$$

만약, 이들 두 전력의 가격과 전력 수요량 사이에 상호적인 영향들이 이루어진다면, 식(7)과 같은 탄력행렬로 정의된다.

$$\begin{pmatrix} \Delta q^a \\ \Delta q^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{aa} & e_{ab} \\ e_{ba} & e_{bb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta p^a \\ \Delta p^b \end{pmatrix} \quad (7)$$

전력 소비자들의 계획이 24시간 주기로 가정하면 탄력계수의 구성은 탄력행렬 E에서 정리될 수 있다.

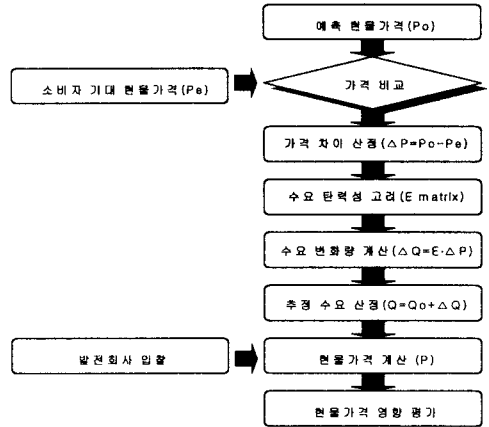


그림 2. 수요 탄력성에 의한 현물가격의 변화를 계산하는 알고리즘

$$\Delta Q = E \cdot \Delta P \quad (8)$$

식(8)에서의 수요 탄력행렬의 구조는 전력 소비자의 다양한 작용에 의해 탄력행렬이 결정된다. 이 행렬의 대각 요소는 self-elasticity를 나타내고, 비대각 요소는 cross-elasticity와 관계가 있다. 본 연구에서 사용할 탄력계수들로 구성된 탄력행렬 모델은 self-elasticity 계수는 가정용 부하인 경우 -0.05, 상업용 -0.026, 산업용 -0.1로써 설정하고, cross-elasticity 계수는 일반적으로 낮은 가격주기의 시간대로 전력수요의 감소가 없는 상황으로 고려되었다. 가정용은 0.00625와 0.0025로 설정하고, 상업용은 0.00325와 0.0013으로 그리고, 산업용은 0.0125와 0.005로써 구성하였다.

2.3 사례 연구

전력가격 변화에 대해 소비자가 수요 탄력성만큼 전력수요의 변화를 초래하고 이 수요의 변화가 현물가격에 영향을 미치게 되는 것을 그림 1의 IEEE 14 예제 모선을 통해 분석한다.

사례연구에 사용된 자료들은 전력거래소의 수요예측 자료와 통계청의 용도별 전력 수요량 자료들이며, 다음과 같은 가정들을 설정하였다.

- 경쟁시장의 구조는 도매경쟁 단계 상황으로 가정한다
- 발전회사의 경쟁은 고려하지 않는다
- 24시간 계획에 걸쳐 전력 소비자들의 전체 전력수요의 감소는 하지 않는 것으로 가정한다
- 투자회수요금 및 송전요금 외 기타요금들은 일정한 것으로 가정한다
- 현물가격은 전력가격에서 많은 비중을 차지하는 시스템 한계가격(SMP)만을 고려한다
- 소비자 기대가격은 배전회사(판매회사)에서 기대하는 가격으로 참고문헌(3)의 비율을 바탕으로 고려한다
- 초기 수요량은 수요 탄력성을 고려하기 전의 수요량으로 가정한다
- 예측 현물가격은 배전회사(판매회사)가 과거자료를 기초로 예측한 전력가격으로 가정한다

그림 2는 수요 탄력성을 고려한 현물가격에서의 변화를 계산하는 절차를 나타낸 것이다. 각 시간대별 초기 전력 수요량은 용도별 부하 즉, 가정용, 상업용, 산업용 수요의 합으로 표현된다.

$$Q_o = Q_{o-res} + Q_{o-com} + Q_{o-ind} \quad (9)$$

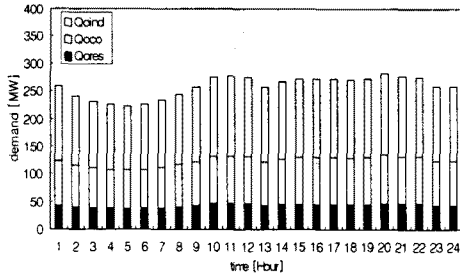


그림 3. 용도별 부하에 따른 초기 전력 수요량

한국 전력거래소의 2001년 3월에서부터 5월까지의 수요예측자료에서 평일 24시간 부하 데이터를 각 시간대별 평균수요를 바탕으로 하여, 1시를 기준으로 각 시간대별 부하의 변화율을 적용시켜 IEEE 14 예제 모션의 수요량을 기초로 24시간 각 시간대별 초기 전력 수요량을 구성하였다. 각 시간대별 초기 전력 수요량에서 용도별 수요량 비율은 2000년 통계청 자료의 용도별 전력 수요량 비율을 토대로 하여 가정용 16.5%, 상업용 31.3%, 산업용 52.2%로 적용시켰다. 그림 3은 용도별 부하에 따른 초기 전력 수요량을 나타낸 것이다.

예측 현물가격과 각 용도별 부하에 따른 소비자 기대 현물가격을 비교하여 그 차이를 각각 계산한다. 이때 전력 소비자들은 가격에 대한 그들의 수요 탄력성만큼 전력소비의 변화를 가지게 된다. 전력수요의 변화량은 각 용도별 부하의 탄력행렬을 고려하여 식(10)~(12)과 같이 용도별 부하에 대해 각각 계산한다.

$$\Delta Q_{res} = E_{res} \cdot \Delta P_{res} \quad (10)$$

$$\Delta Q_{com} = E_{com} \cdot \Delta P_{com} \quad (11)$$

$$\Delta Q_{ind} = E_{ind} \cdot \Delta P_{ind} \quad (12)$$

가격에 대한 탄력성을 갖기 전의 초기 수요량과 탄력성을 가진 후의 수요 변화량을 더함으로써 각 용도별에 따른 추정 수요량을 계산한다.

$$Q_{res} = Q_{o-res} + \Delta Q_{res} \quad (13)$$

$$Q_{com} = Q_{o-com} + \Delta Q_{com} \quad (14)$$

$$Q_{ind} = Q_{o-ind} + \Delta Q_{ind} \quad (15)$$

시간대별 추정 수요량은 각 부하의 합으로 산정된다.

$$Q = Q_{res} + Q_{com} + Q_{ind} \quad (16)$$

그림 4는 초기 전력 수요량과 수요 탄력성이 고려된 전력 수요량을 비교한 것이다. 그림에서와 같이 초기에 높은 수요량을 나타내는 오전 9시 이후의 수요가 낮은 수요량의 시간대인 아침 이른시간대나 야간시간대로 전력수요의 재분배가 이루어지는 현상을 볼 수 있다. 이는 전력 소비자들이 가격에 대한 탄력성을 가지게 되므로 높은 가격시간대의 수요의 절감하여 낮은 가격시간대의 수요로 이동하는 반응에 기인한 것이다.

전력가격은 수요 탄력성이 고려된 전력 수요량으로부터 Power World Simulator를 이용하여 각 시간대별 부하의 현물가격이 계산되었다. 그림 5는 예측 현물가격과 수요 탄력성이 고려된 후 현물가격을 비교한 것이다. 전력 소비자들의 가격에 대한 탄력성을 가지게 되어 전력소비의 재분배가 형성되었으므로, 수요가 절감된 시간대의 현물가격은 하락하게 되고 수요가 이동되어 수요의 상승을 가져온 시간대의 현물가격이 증가되는 영향을 볼

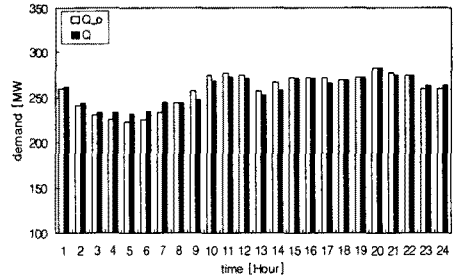


그림 4. 초기 수요량과 수요 탄력성이 고려된 전력 수요량의 비교

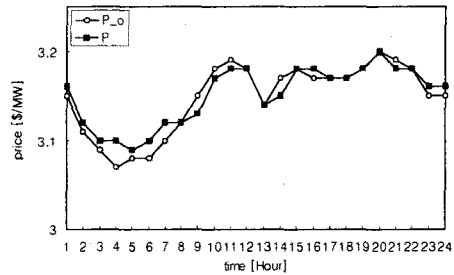


그림 5. 예측 현물가격과 수요 탄력성이 고려된 현물가격의 비교

수 있다. 그러므로, 경쟁시장의 실시간으로 변화하는 전력가격에서 전력 소비자의 가격에 대한 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 영향을 주게 된다.

3. 결 론

각 용도별 부하의 수요 탄력계수를 산출하고, 실시간으로 변하는 가격에 대한 실시간 탄력계수의 값을 구성하는 탄력행렬을 나타내었다. 경쟁 전력시장의 구조에서 전력 소비자의 수요 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 미치는 효과를 IEEE 14 예제 모션을 통해 분석하였다. 전력수요에서의 반응은 소비자들이 가격에 대한 탄력성을 가지게 되어 높은 가격 시간대의 수요의 절감하여 낮은 가격 시간대의 수요로 이동하는 수요의 재분배 현상을 볼 수 있었으며, 이에 따라 수요가 절감된 시간대의 현물가격은 하락하게 되고 수요가 이동되어 수요의 상승을 가져온 시간대의 현물가격이 증가된 효과를 알 수 있었다. 따라서, 경쟁 전력시장에서 현물가격에 영향을 미치는 수요 탄력성의 고려는 시장구조에서 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.C. Caramanis, "Optimal spot pricing : practice and theory", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 9, pp 3234, 1982
- [2] Fred C. Schweppe, "Evaluation of spot price based electricity rates", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 7, pp 1644, 1985
- [3] Daniel S. Kirschen, "Factoring the elasticity of demand in electricity prices", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp 612, 2000
- [4] A.K. David, "Load forecasting under spot pricing", IEE Proceedings, Vol. 135, No. 5, pp 369, 1988