

## 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\* and Kyung-Bin Song\*\*

\*Kyungpook National University \*\*Keimyung University

#### 개 요

경쟁적인 전력시장에서 실시간 전력가격의 변화는 전력소비자들의 전력소비에 영향을 주게 된다. 서로 다른 특성을 가지는 가정용, 상업용, 산업용 부하들은 전력소비 성향의 변화에 따라 서로 다른 가격 탄력성을 가진다. 따라서, 본 논문에서는 계산된 각 용도별 부하에 대한 수요 탄력성을 적용하여 경쟁 전력 시장에서 수요 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 미치는 영향을 분석한다.

**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 analyze the effects of spot pricing for the change of the electric power demand based on the demand elasticity of each loads in competitive electricity market.

#### 1. 서 론

전력시장이 자율화됨에 따라 실시간으로 전력가격이 변화하게 되며 전력 소비자들은 유동적인 전력가격을 지불하게 된다<sup>[1][2]</sup>. 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 최대화 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 전력 시장 참여자들에 의해 실시간으로 변화하게 되며 전력 가격의 전력 소비자에 대한 영향은 소비자들로 하여금 전력수요에 대한 탄력성(demand elasticity)을 가지게 한다<sup>[3][4]</sup>. 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 우리나라의 전력수요를 가정용, 상업용, 산업용 부하로 구분하여 전력수요의 탄력성을 조사하고 수요 탄력성의 값들이 실시간으로 형성되는 탄력행렬을 구성하여 경쟁적 전력시장의 구조에서 전력 수요자의 수요 탄력성에 의한 현물가격의 영향을 분석하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2-1. 전력수요 탄력성

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

같이 일반적으로 나타낸다.

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

수요곡선이 가격에 대해 감소하는 기울기를 갖기 때문에 가격의 변화는 증가한 가격에서 원래의 가격의 차로 식(2)과 같이 양의 값을 가지며, 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 탄력성이 양의 값이면 수요의 감소를 나타내고 음의 값이면 수요의 증가를 의미한다.

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

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

전력수요 탄력성을 산출하기 위해 사용된 자료들은 통계청 자료를 바탕으로 전력가격의 변화를 나타내는 생산자 물가지수(전력)와 각 용도별에 따른 전력 수요량을 이용하였다. 전력가격의 변화는 전력가격의 인상 전·후의 인상률 차로써 계산하며, 전력 수요량의 변화는 전력가격 인상 전·후 월별 수요량 차이의 변화율( $\Delta q$ )에서 과거 전력가격의 인상이 없었던 같은 월별 수요량의 자연 증분율( $q_0$ )을 제외한 값으로 계산한다. Table 1은 90년 이후 전력가격이 인상된 연도의 각 용도별 부하에 대한 수요 탄력성의 값을 평균으로 계산하여 나타낸 것이다. 이 수요 탄력성의 값을 구하는 절차는 본 저자가 기존에 연구하여 발표된 참고문헌<sup>15)</sup>에 자세히 기술되어 있다.

90년 이후 우리 나라 전력가격에 대한 전력수요 탄력성은 Table 1에서와 같이 1보다 작은 값으로 모두 비탄력적이고 산업용 부하인 경우가 가정용과 상업용에 비해 더 탄력적임을 알 수 있다. 즉, 전력가격 인상에 따른 전력수요의 감소가 크게 나타남으로 전력가격 변화에 더 민감하게 작용한다는 것이다.

**2-2. 탄력행렬의 구성**

경쟁 전력시장의 구조에서 수요 탄력성에 따른 전력

**Table 1. The value of demand elasticity for each loads.**

연도	가정용 부하	상업용 부하	산업용 부하
92	0.078622	-0.24833	0.124248
95	-0.05399	0.022019	0.0891
97	-0.02576	-0.05291	0.023455
98	0.203464	0.384312	0.172317
수요 탄력성 (평균값)	0.05	0.026	0.1

수요의 변화를 조사하기 위해 실시간으로 변하는 전력 가격에 대한 실시간 수요 탄력성의 값들로 형성되는 탄력행렬을 구성해야 한다<sup>16)</sup>.

하루 24시간 구간에 대한 전력가격의 변화에서, 임의의 시간 a에서의 전력가격이 전력 소비자가 기대한 가격보다 높을 때 즉, a시간대에서의 가격의 변화( $\Delta p^a$ )는 a시간대에서의 수요의 변화( $\Delta q^a$ )를 초래한다. 이 수요의 변화는 가격상승에 따른 수요의 감소를 나타내므로 탄력성( $e_{aa}$ )은 음의 값을 가지는 “self-elasticity”로써 사용된다. 이것은 식 (4)과 같이 정의된다.

$$\Delta q^a = \alpha_{aa} \cdot e_{aa} \cdot \Delta p^a; e_{aa} < 0 \quad (4)$$

여기서,  $\alpha_{aa} = (p^a/q^a)$

$p^a$  : a시간대에서 전력가격 변화 전의 초기 가격

$q^a$  : a시간대에서 전력수요 변화 전의 초기 수요

또한, b시간대에서의 가격의 변화( $\Delta p^b$ )가 a시간대에서의 가격과 비교해서 소비자가 기대한 가격보다 낮을 때, b시간대에서의 가격변화는 a시간대에서의 수요의 변화( $\Delta q^a$ )를 초래한다. 다른 시간대의 가격변화에 의해 현재 시간의 수요변화를 유도하는 탄력성( $e_{ab}$ )은 양의 값을 가지는 “cross-elasticity”로써 사용된다. 이것은 식(5)와 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta q^a = \alpha_{ab} \cdot e_{ab} \cdot \Delta p^b; e_{ab} \geq 0 \quad (5)$$

여기서,  $\alpha_{ab} = (p^b/q^a)$

$p^b$  : b시간대에서 전력가격 변화 전의 초기 가격

$q^a$  : a시간대에서 전력수요 변화 전의 초기 수요

서로 다른 시간대인 이들 두 개의 수요변화는 식(6)과 같은 탄력행렬로 정의된다.

$$\begin{pmatrix} \Delta q^a \\ \Delta q^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{aa}e_{aa} & \alpha_{ab}e_{ab} \\ \alpha_{ba}e_{ba} & \alpha_{bb}e_{bb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta p^a \\ \Delta p^b \end{pmatrix} \quad (6)$$

24시간 주기를 고려하면, 탄력행렬은 24×24행렬에서 정의될 수 있다. 식(7)은 행렬식으로 나타낸 것이다.

$$\Delta Q = E \cdot \Delta P \quad (7)$$

식(7)에서 탄력행렬의 구조는 전력 소비자의 다양한 작용에 의해 탄력행렬이 결정된다. 이 행렬의 대각 요소는 전력수요의 감소와 관련되는 self-elasticity를 나타내고, 비대각 요소는 전력수요의 증가와 관련되는 cross-elasticity와 관계가 있다.

만약, 전력 소비자들이 장기적인 주기에 걸쳐 전력소비의 재계획하는 능력을 가진다면, 탄력성의 값들이 대각 요소를 중심으로 넓게 퍼질 것이다. 반대로, 전력 소

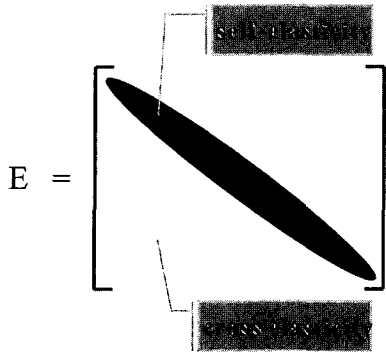


Fig. 1. The structure of elasticity matrix.

비자들의 유동성이 제한된다면, 탄력성의 값들은 대각 주위로 밀집될 것이다. 따라서, 전력 소비자들이 전력소비를 재계획 해야 된다면, 전력 소비자들의 관점에서 이

점을 가질 수 있는 가장 낮은 전력가격의 시간대로의 이동을 결정하게 된다.

본 연구에서 사용할 탄력행렬 모델을 위해 각 용도별 부하의 수요 탄력성 값을 Table 2와 같이 설정하였다. 수요 탄력성의 값은 전력수요의 감소가 없는 상황으로 고려되었으며, cross-elasticity는 일반적으로 낮은 전력가격주기의 시간대인 아침 이른 시간대와 야간시간대로 설정하였다.

2-3. 사례 연구

전력가격 변화에 대해 소비자가 수요 탄력성만큼 전력수요의 변화를 초래하고 이 수요의 변화가 현물가격에 영향을 미치게 되는 것을 Fig. 2의 IEEE 14 예제 모신을 통해 분석한다.

사례연구에 사용된 자료들은 전력거래소의 수요예측 자료와 통계청의 용도별 전력 수요량 자료들이며, 다음

Table 2. The value of demand elasticity for each loads to modelize elasticity matrix.

가정용 부하		상업용 부하		산업용 부하	
self elasticity	cross elasticity	self elasticity	cross elasticity	self elasticity	cross elasticity
-0.05	0.00625 0.0025	-0.026	0.00325 0.0013	-0.1	0.0125 0.005

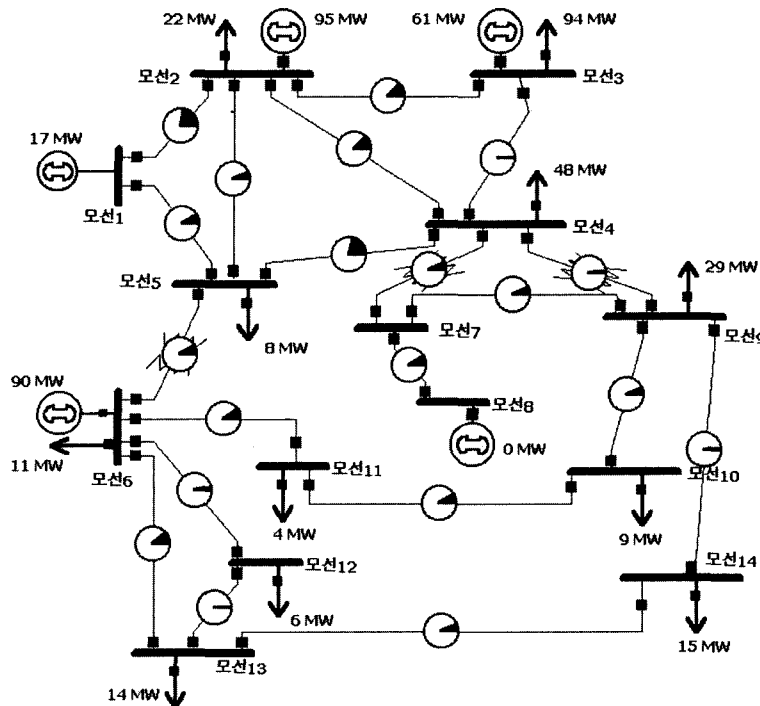


Fig. 2. IEEE 14 example bus.

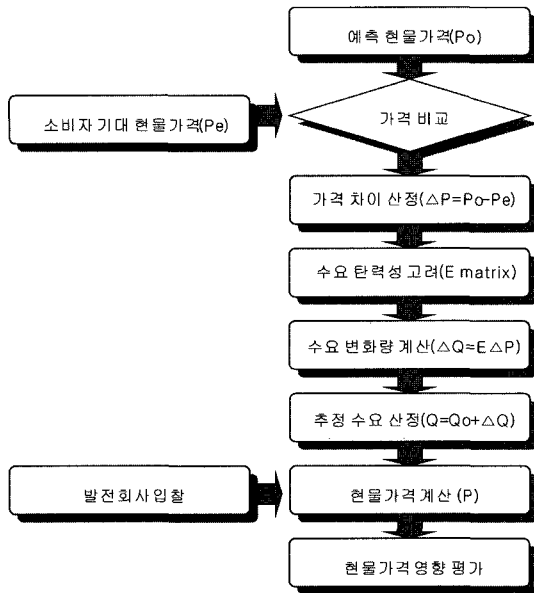


Fig. 3. The algorithm to calculate the effect of spot price for demand elasticity.

과 같은 가정들을 설정하였다.

- 경쟁시장의 구조는 도매경쟁 단계 상황으로 가정하며, 발전회사의 경쟁은 고려하지 않는다.
- 현물가격은 전력가격에서 많은 비중을 차지하는 시스템 한계가격(SMP)만을 고려하며, 투자회수요금 및 송전요금 외 기타요금들은 일정한 것으로 가정한다.
- 소비자 기대가격은 배전(판매)회사에서 기대하는 가격으로 참고문헌<sup>[3]</sup>의 비율을 바탕으로 고려한다.
- 초기 수요량은 수요 탄력성을 고려하기 전의 수요량으로 가정한다.
- 예측 현물가격은 초기 수요량을 바탕으로 계산된 전력가격으로 가정한다.

Fig. 3은 수요 탄력성을 고려한 현물가격에서의 변화를 계산하는 절차를 나타낸 것이다.

각 시간대별 초기 전력 수요량은 용도별 부하 즉, 가정용, 상업용, 산업용 수요의 합으로 표현된다.

$$Q_0 = Q_{o-res} + Q_{o-com} + Q_{o-ind} \quad (8)$$

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 모선의 수요량을 기초로 24시간 각 시간대별 초기 전력 수요량을 구성하였다. 각 시간대별 초기 전력 수요량에서 용도별 수요량 비율은 2000년 통계청 자료의 용도별 전

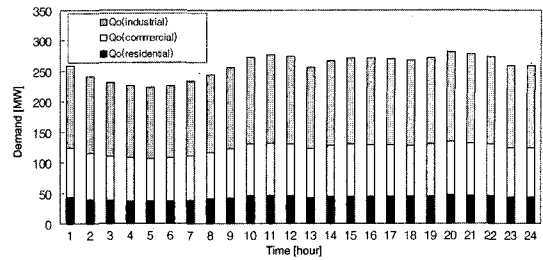


Fig. 4. The initial power demand for each load.

력 수요량 비율을 토대로 하여 가정용 16.5%, 상업용 31.3%, 산업용 52.2%로 적용시켰다. Fig. 4는 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(9)~(11)와 같이 용도별 부하에 대해 각각 계산한다.

$$\Delta Q_{res} = E_{res} \cdot \Delta P \quad (9)$$

$$\Delta Q_{com} = E_{com} \cdot \Delta P \quad (10)$$

$$\Delta Q_{ind} = E_{ind} \cdot \Delta P \quad (11)$$

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

$$Q_{res} = Q_{o-res} + \Delta Q_{res} \quad (12)$$

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

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

시간대별 추정 수요량은 각 부하의 합으로 산정된다.

$$Q = Q_{res} + Q_{com} + Q_{ind} \quad (15)$$

Fig. 5는 초기 전력 수요량과 수요 탄력성이 고려된

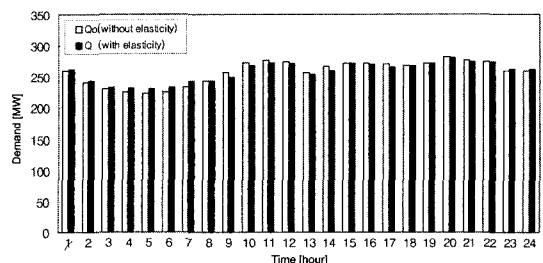


Fig. 5. The comparison of the power demand.

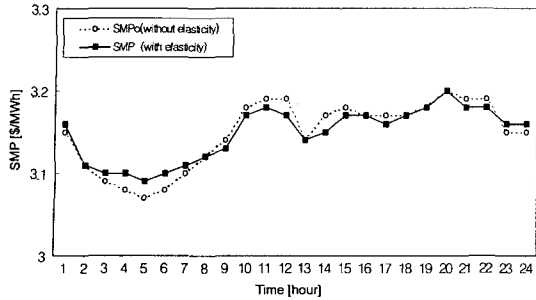


Fig. 6. The comparison of the spot price.

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. Fig. 6은 예측 현물가격과 수요 탄력성이 고려된 후 현물가격을 비교한 것이다. 전력 소비자들의 가격에 대한 탄력성을 가지게 되어 전력 소비의 재분배가 형성되었으므로, 수요가 절감된 시간대의 현물가격은 하락하게 되고 수요가 이동되어 수요의 상승을 가져온 시간대의 현물가격이 증가되는 영향을 볼

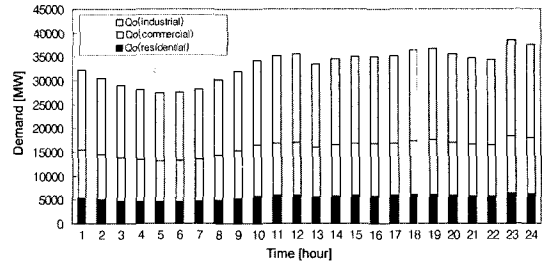


Fig. 7. The initial power demand for each load (KEPCO real power system).

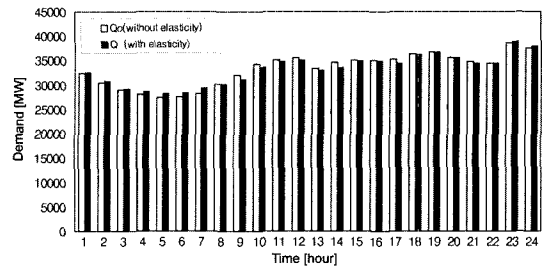


Fig. 8. The comparison of the power demand (KEPCO real power system).

수 있다.

2-4. 한전 실계통 적용

전력수요 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 영향을 주게 되는 것을 Fig. 7의 2000년 12월 26일

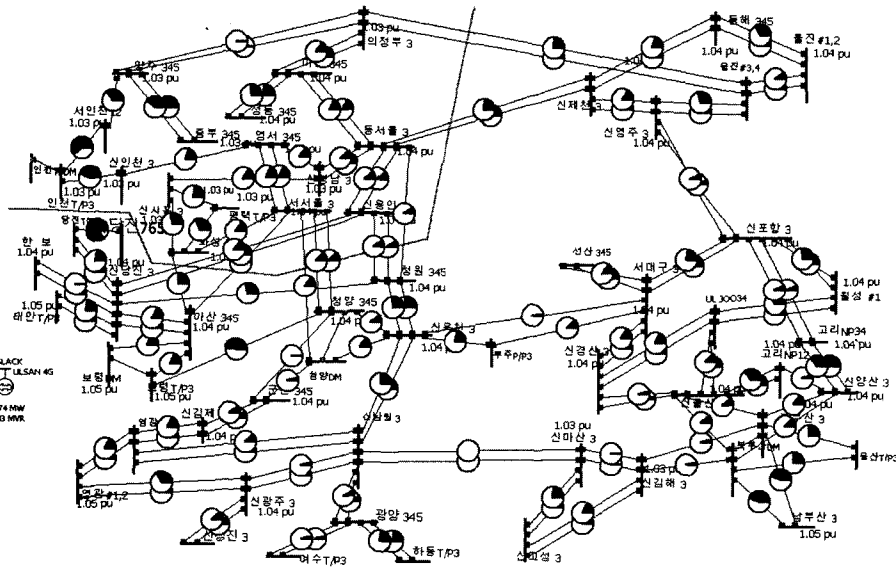


Fig. 9. KEPCO real power system diagram using Power World Simulator.

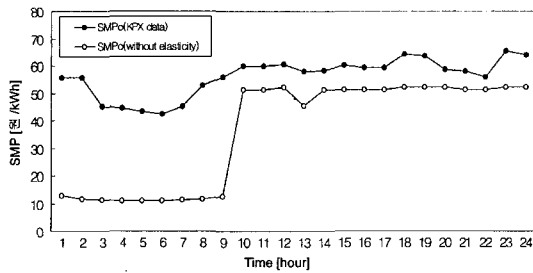


Fig. 10. The comparison of SMP data.

화요일 24시간 부하를 기초로 하여 한전 실계통에 적용을 하였다.

Fig. 8은 수요 탄력성이 고려되기 전의 초기 전력수요량과 수요 탄력성이 고려된 후 변화된 24시간 전력수요량을 비교한 것이다. 수요 탄력성이 고려된 후 전력수요량은 9시부터 18시 사이의 전력수요량이 감소되어 다른 시간대로의 전력수요 재분배 현상을 볼 수 있다.

Fig. 9는 한전 실계통 데이터로써 SMP 계산을 위해 본 논문에서 사용된 Power World Simulator의 실계통 그림을 나타낸 것이다.

Fig. 10은 2000년 12월 26일 화요일 24시간 SMP 변화를 전력수요량을 바탕으로 Power World Simulator를 이용하여 각 시간대별 SMP 계산 결과와 한국전력거래소(Korea Power Exchange)의 SMP 결과를 비교해서 나타낸 것이다.

한국전력거래소의 SMP 계산은 기저한계가격(Base Load Marginal Price)과 계통한계가격(System Marginal Price)으로 구분된다. 기저한계가격은 계통의 기저수요와 원자력 유연탄 및 무연탄 발전소를 포함하는 계통의 기저발전기를 대상으로 계산되며, 계통한계가격은 계통의 전체수요와 기저발전소를 제외한 계통의 발전기를 대상으로 계산된다. 본 연구에서는 기저한계가격을 고려하지 않고 계통의 전체수요 및 발전기를 대상으로 계산한 계통한계가격만을 고려하였으므로 한국전력거래소의 SMP와 비교할 때, 1시부터 9시까지 SMP 변화에서 큰 차이가 나타나게 되는 것이다. Fig. 10의 SMP 변화에서 10시 이후 다소 차이가 나타나는데 이는 본 연구에서 SMP 계산을 위해 사용된 Power World Simulator는 기동정지계획(Unit Commitment)을 고려하지 않았으므로 한국전력거래소의 SMP 결과와 정확하게 일치되지는 않았다.

Fig. 11은 한전 실계통 전력수요량을 바탕으로 Power World Simulator를 이용하여 OPF(optimal power flow)를 수행한 후, 수요 탄력성이 고려되기 전·후의 각 시간대별 SMP 계산 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 11의 각 시간대별 SMP 결과에서 수요 탄력성에

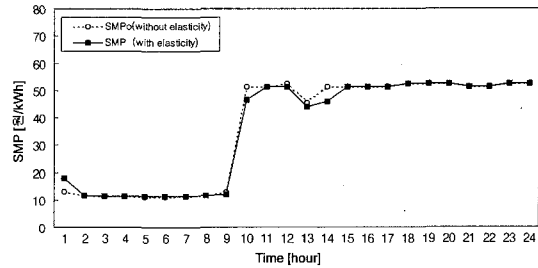


Fig. 11. The comparison of the spot price (KEPCO real power system).

의한 전력수요의 재분배에 따른 전력가격이 수요가 절감된 시간대는 하락하게 되고 수요가 이동되어 수요의 상승을 가져온 시간대는 증가되는 영향을 볼 수 있으며 특히, 1시, 10시, 14시에 다른 시간대별 결과에 비해 두드러진 변화가 나타나는 것을 볼 수 있다. 1시인 경우, 수요 탄력성이 고려된 후 전력수요 상승을 가져왔으며 SMP는 4.77원/kWh의 전력가격 상승이 이루어졌다. 10시인 경우, 전력수요 감소와 더불어 SMP는 4.71원/kWh의 전력가격이 감소되었으며, 14시인 경우 수요 탄력성이 고려된 후 SMP는 5.31원/kWh의 전력가격 하락을 초래하였다.

수요 탄력성이 고려되기 전 초기 전력가격에 비해, 수요 탄력성에 의한 전력수요 재분배가 형성된 후 전체 SMP의 변화는 8.21원/kWh의 비용 절감 효과가 발생되었다. 따라서, 경쟁시장의 실시간으로 변화하는 전력가격에서 전력 소비자의 가격에 대한 수요 탄력성은 전력수요의 변화를 초래하며 이 전력수요의 변화가 전력시장의 현물가격에 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

### 3. 결 론

경쟁 전력시장의 구조에서 전력 소비자의 수요 탄력성에 따른 전력수요의 변화가 현물가격에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 용도별 부하에 따라 탄력행렬을 구성하였으며, 이를 IEEE 14예제 모선의 사례연구와 더불어 한전 실계통에 적용하였다. 전력수요에서의 반응은 소비자들이 가격에 대한 탄력성을 가지게 되어 높은 가격 시간대의 수요의 절감하여 낮은 가격 시간대의 수요로 이동하는 수요의 재분배 현상을 볼 수 있었으며, 전력수요 변화에 따라 전력가격이 변화됨을 알 수 있었다. 수요 탄력성이 현물가격에 미치는 영향을 한전 실계통에 적용한 결과는 수요 탄력성에 의한 전체 현물가격의 변화가 8.21원/kWh로써 수요 탄력성을 가지는 전력 소비자에게 비용 절감 효과가 발생됨을 알 수 있었다. 경쟁시장의 실시간으로 변화하는 전력가격에서 전력 소비

자의 가격에 대한 수요 탄력성은 전력수요의 변화를 초래하며 이 전력수요의 변화가 전력시장의 현물가격에 영향을 미치게 됨을 확인하였다. 그러므로, 경쟁 전력시장에서 현물가격에 영향을 미치는 수요 탄력성의 고려는 시장구조에서 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 1999년도 기초전력공학공동연구소의 중기 과제(전력계통 및 제어분과 : 과제번호 99-중-04)로 진행되었기에 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Caramanis, M.C.: "Optimal spot pricing : practice and theory", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-101(9), 3234 (1982).
2. Schweppe, Fred C.: "Evaluation of spot price based electricity rates", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-104(7), 1644 (1985).
3. Kirschen, Daniel S.: "Factoring the elasticity of demand in electricity prices", IEEE Transactions on Power Systems, 15(2), 612 (2000).
4. David, A.K.: "Load forecasting under spot pricing", IEE Proceedings, 135(5), 369 (1988).
5. 김문영, 백영식, 송경빈: "전력수요 탄력성에 따른 각 용도별 부하의 전력수요 영향", 대한전기학회논문지, 50(12), 568 (2001).