

談合可能性下에서의 電力現物市場의 競爭樣相에 關한 研究 *

李鍾受** · 李正東*** · 金泰由****

논문 초록

본 연구는 한국 전력산업 발전부문 경쟁 후 전력현물시장에서의 잠재적인 영향을 전력 공급물량, 가격, 사회적 후생의 측면에서 분석하는 데 목적이 있다. 전력현물시장의 균형을 묘사하기 위하여 담합가능성하에서의 공급함수 균형모형을 설정하였다. 국내 전력산업의 수요, 공급에 관한 실증자료를 활용하여 시뮬레이션한 결과, 담합의 가능성이 존재할 경우 사회적 후생의 수준과 분배가 훼손될 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 담합을 효과적으로 배제할 수 있는 경우라 할지라도 전력공급자와 소비자간의 후생분배에 있어 바람직하지 않은 결과가 초래될 수 있을 것으로 분석되었다. 이러한 결과에 근거하여 불 때 발전부문에서의 경쟁도입으로 인한 후생측면의 부정적 영향을 사전에 방지하기 위하여 다양한 보조적 정책수단이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

핵심주제어: 경쟁도입, 공급함수균형, 담합

경제학문헌목록 주제분류: L5, L9

* 이 연구는 서울대학교 간접연구경비에서 지원된 연구비에 의해 수행되었음. 이 논문의 초고에 대하여 활발히 논평해 주신 2001년 경제학공동학술대회 세미나 토론자 및 참석자 여러분께 감사드립니다.

** 서울대학교 공과대학 협동과정 기술정책 연구원, E-mail: jslee@plaza.snu.ac.kr

*** 서울대학교 공과대학 협동과정 기술정책 조교수, E-mail: leejd@snu.ac.kr

**** 서울대학교 공과대학 협동과정 기술정책 교수, E-mail: tykim@snu.ac.kr

1. 서문

최근의 전력산업 구조개편 경과에 따르면, 한국전력공사(이하 한전)를 중심으로 한 우리나라 전력산업의 독점공기업 구조는 한전의 민영화와 함께 전력산업에 시장 경쟁을 도입함으로써 빠르게 개편되고 있다. 전력산업 구조개편이 진행되면서 원자력발전소를 제외한 발전부분이 5개의 민간회사로 분할 매각되고, 경쟁이 도입되면 발전도매시장은 중장기적으로 소위 pool 형태로 운영될 전망이다. 즉 5개의 발전자회사들이 풀(pool) 형태의 현물시장에 공급전력량과 희망가격으로 구성된 전력공급계획을 입찰하고, 현물시장 운영자가 제출된 5개 사업자의 전력공급계획 및 원자력, 수력발전계획에 따라서 적절한 물량과 가격을 낙찰하는 형식으로 시장균형이 이루어지게 되는 것이다.

전력이 국가경제에서 차지하고 있는 중요성을 감안할 때 전력시장에서의 균형이 어떠한 양상으로 이루어지는가는 사회후생과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이를 감안하여 영국 등 이미 발전시장의 경쟁이 이루어지고 있는 국가에서는 전력시장의 경쟁양태를 다양한 방법으로 연구하여 왔다. 대표적으로 Green and Newbery (1992)는 영국 전력산업에서의 경쟁도입 이후 현물시장의 균형을 분석하고 정책시점을 도출한 바 있다. 이들 연구의 이론적 근간은 Klemperer and Meyer(1989)에 의해 제시된 불확실성이 내포된 수요가 있을 경우의 공급함수 균형개념이다. 그들은 시장불확실성이 존재할 때 기업의 결정변수는 가격이나 물량과 같이 1차원적인 것이 아니라, 가격에서 물량으로의 매핑(mapping)으로 요약되는 공급계획이라고 가정하는 것이 더욱 현실적임을 보인 바 있다. 각 발전사업자들이 전력공급계획을 결정함으로써 현물시장운영자에 의해 균형가격과 물량이 결정되는 전력현물시장은 Green and Newbery(1992)가 지적한 바와 같이 공급함수 균형의 가장 좋은 예라고 할 수 있다.

본 연구는 공급함수 균형개념을 이용하여 전력현물시장을 분석하였다는 점에서 Green and Newbery(1992)와 동일하지만, 몇 가지 구별되는 특징을 가지고 있다. 첫째, 본 연구는 사전적(ex-ante) 연구이다. 현재까지 국내 전력산업에서 경쟁이 이루어지지 않고 있기 때문에, 경쟁도입 후의 전력현물시장 성과가 존재하지 않는다. 본 연구에서는 자료 구득이 가능한 최근 연도로서 1999년의 전력산업 상황을 기준으로 경쟁이 도입되었을 경우 나타나게 될 가상적 시장균형을 시뮬레이션하고

자 한다. 둘째, 본 연구는 담합(collusion)의 가능성을 모형 내에 포괄하였다. Green and Newbery(1992)는 담합의 가능성과 그로 인한 사회적 후생의 추가 손상 가능성에 대하여 언급하고 있으나, 실증적으로 이를 다루지 못하였다. 본 연구에서는 앞서 제시한 공급함수 균형 모형에 Friedman(1971, 1985), Green and Porter(1984), Haltiwanger and Harrington(1991), Rothschild(1997), Cyrenne(1999) 등에서 다루어져 온 촉발가격 담합(trigger price collusion)의 가능성을 추가한 실증모형을 구축함으로써 보다 일반화된 모형을 수립하고 이를 활용하였다. 셋째, 균형에 큰 영향을 미치는 수요 불확실성을 보다 엄밀하게 다루기 위해 비모수적 커널밀도 추정법과 1999년의 시간별 전력수요자료를 이용하여 수요충격항의 누적밀도함수(CDF; cumulative density function)와 확률밀도함수(PDF; probability density function)를 추정하였다. 이외 일련의 실증분석과정에서의 엄밀성을 추구하려는 노력은 도출된 해의 신뢰성을 제고하는 데 중요한 역할을 한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저, II절에서는 제안모형의 이론적 구조를 제시하였으며, III절에서는 분석에 활용된 자료와 실증분석과정을 간략히 소개하였다. IV절에서는 실증분석결과를 요약 제시하고, 마지막으로, 정책대안과 결론은 V절에 제시하였다.

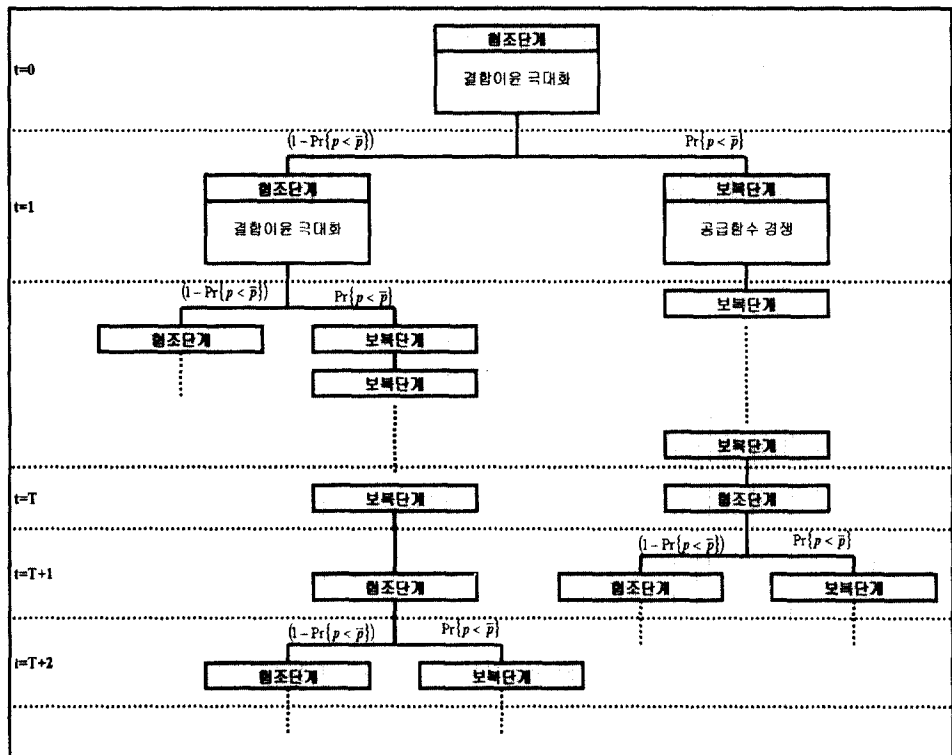
II. 모형의 이론적 구조

본 연구에서 제시하는 모형은 수요 불확실성이 존재하는 상황에서 전력현물시장의 균형을 계산하는 데 목적이 있으며, 이를 위해 Klemperer and Meyer(1989)의 공급함수 균형(supply function equilibrium) 개념과 Green and Porter(1984) 이래로 정치화된 비협조적 촉발가격 균형개념(non-cooperative trigger price equilibrium)을 포괄하는 확장된 형태의 모형을 제시하고자 한다.

먼저, 각 발전회사는 전력현물시장에서 무한히 반복되는 게임에 참여하면서 경쟁한다고 가정한다. 불완전 정보하에서 비협조적 담합의 가능성이 존재하면, 수요 불확실성의 실현 형태에 따라 협조적인 단계와 보복단계가 결정된다(Green and Porter, 1984). 먼저, 협조단계(cooperative phase)에서 기업들은 결합이윤을 극대화시키는 점에서 생산을 하게 된다. 협조단계에서 출발한 각 발전회사들은 시장가

격이 특정한 촉발가격(trigger price) 수준 (\bar{p}) 아래로 내려가지 않는다면 담합을 유지한다. 만약 관찰된 시장균형가격이 \bar{p} 아래로 내려간 경우에는 일정기간 (T) 보복단계(punishment phase)를 유지한다. 일단 시장가격이 \bar{p} 아래로 떨어져서 보복단계가 시작되면 관찰된 시장가격의 수준과 무관하게 공급함수 경쟁에 의한 균형이 유지되고, T 기간 이후 협조단계로 복귀하게 된다. 본 연구에서는 협조와 보복의 각 단계에서의 시장균형을 계산하고, 각 단계에 머무름 확률을 계산함으로써 비협조적 담합의 균형을 도출하는 절차를 밝는다. 이와 같은 경쟁의 양상은 <그림 1>과 같이 묘사될 수 있다.

<그림 1> 모형의 게임나무



먼저 협조단계에서의 결합이윤 극대화 균형을 유도해 보자. 수요 불확실성 모수를 $\theta \in [0, \infty)^{1)}$, 시장에 존재하는 발전회사의 수를 n 이라고 할 때, 결합이윤 극

1) 만약 수요함수를 III절에서처럼 선형 ($D(p) = \theta - bp$)으로 정의하거나 혹은 등탄력성 수요함수

대화 문제는 다음의 (1) 과 같이 표현된다.

$$\max_{y_1, \dots, y_n} \sum_j \pi_j = p(\sum_j y_j, \theta) \sum_j y_j - \sum_j C_j(y_j) \quad (1)$$

여기서 y_j 는 협조단계에서 발전회사 j 의 산출량, p 는 역수요함수, 즉, 전력가격이며, $C_j(\cdot)$ 는 기업 j 의 비용함수이다. 결합이윤 극대화의 일계조건은 모든 y_i 에 대해서 (1)을 편미분함으로써 다음의 (2) 혹은 (3)과 같이 얻어진다.

$$\frac{\partial p(\cdot)}{\partial y_i} \sum_j y_j + p(\cdot) - \partial C_i / \partial y_i = 0 \quad \text{for all } i \quad (2)$$

$$\frac{p(\cdot) - \partial C_i / \partial y_i}{p(\cdot)} = \frac{\partial p(\cdot) / \partial y_i}{p(\cdot)} \sum_j y_j \quad \text{for all } i \quad (3)$$

(3)의 좌변과 우변은 각각 러너지수(Lerner index)와 결합이윤 극대화점에서의 수요탄력성의 역수이다. (3)의 해를 y_i^* 라고 하면, 협조단계에서의 발전회사 i 의 기대 결합이윤은 다음의 π_i^C 와 같다.

$$\pi_i^C = E_\theta \left[p\left(\sum_j y_j^*, \theta\right) y_i^* - C_i(y_i^*) \right] = \int_0^\infty \left[p\left(\sum_j y_j^*, \theta\right) y_i^* - C_i(y_i^*) \right] \cdot f(\theta) d\theta \quad (4)$$

for all i

보복단계에서의 공급함수 균형은 Klemperer and Meyer(1989)의 이론적 논의와 Green and Newbery(1992)의 실증모형을 바탕으로 다음과 같이 묘사할 수 있다. 먼저 기업 i 의 잔여수요함수(residual demand function)는 다음의 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_i^R(p, \theta) \equiv D(p, \theta) - \sum_{j \neq i} S_j(p) \quad \text{for all } i \quad (5)$$

($D(p) = \theta e^{bp}$)로 정의한다면, θ 는 두 경우 모두에서 전력현물시장의 크기로 해석될 수 있다.

여기서 $D(p, \theta)$ 는 전력현물시장의 전력수요함수이고, $S_j(p)$ 는 발전회사 j 의 공급함수이다. 만약 발전회사 i 를 제외한 나머지 발전회사들이 이윤을 극대화하기 위해 공급함수 $S_j(p)$, $j \neq i$ 를 선택할 경우, 이 기업의 이윤함수는 다음과 같다.

$$\pi_i(p, \theta) = pD(p, \theta) - p \sum_{j \neq i} S_j(p) - C_i(D(p, \theta) - \sum_{j \neq i} S_j(p)) \quad \text{for all } i \quad (6)$$

이 때, 이윤극대화를 위한 일계조건은 (7) 혹은 (8)과 같이 정의된다.

$$D(p, \theta) - \sum_{j \neq i} S_j(p(\theta)) + [p - C'_i(D(p, \theta) - \sum_{j \neq i} S_j(p(\theta)))] \cdot \left[\frac{\partial D(p, \theta)}{\partial p} - \sum_{j \neq i} \frac{\partial S_j(p(\theta))}{\partial p} \right] = 0 \quad (7)$$

$$S_i(p(\theta)) = [p - C'_i(S_i(p(\theta)))] \cdot \left[-\frac{\partial D(p, \theta)}{\partial p} + \sum_{j \neq i} \frac{\partial S_j(p(\theta))}{\partial p} \right] \quad \text{for all } i \quad (8)$$

여기서 C'_i 는 발전회사 i 의 한계비용함수이다. (8)의 해로서 구해진 보복단계에서의 각 발전회사 i 의 최적 공급계획을 S_i^* 라고 한다면, 우리는 식 (9)와 같이 보복단계에서 각 기업의 기대이윤, π_i^p 를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_i^p &= E_\theta [S_i^*(p(\theta))p(\theta) - C(S_i^*(p(\theta)))] \\ &= \int_0^\infty [S_i^*(p(\theta))p(\theta) - C(S_i^*(p(\theta)))] \cdot f(\theta) d\theta \quad \text{for all } i \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $f(\theta)$ 는 수요불확실성 모수 θ 의 확률밀도함수이다.

이제 전력현물시장의 담합의 균형전략을 계산해 보자. 각 기업은 경쟁기업의 행동을 직접적으로 관측하지 못하는 것이 일반적이므로 관측된 시장가격의 하락이 경쟁기업의 가격인하 때문인지 혹은 단지 수요 불확실성에 의한 것인지 알 수 없다. 이러한 상황에서 각 기업의 균형전략을 다음과 같은 절차를 통해 도출할 수 있다.

i) $t=0$ 이거나 ii) $t-1$ 가 협조단계였고 $p_{t-1} \geq \bar{p}$ 이거나 iii) $t-T$ 가 협조단계였고 $p_{t-T} < \bar{p}$ 인 경우를 협조단계로 정의할 수 있으며, 그 나머지는 보복단계로 정의된

다. 특정한 t 시점이 협조단계일 경우 기업 i 는 산출량 y_i^* 를 선택하고, 이 시점이 보복단계일 경우 기업 i 는 균형 공급함수 S_i^* 를 선택한다고 가정한다. 각 기업은 기대이윤의 현재값을 극대화하기 위해서 다음과 같은 안정적인 2상(two-phase) T 단계의 마르코프(Markov) 동태적 계획(dynamic programming) 문제에 직면하게 된다. 기업 i 의 협조단계에서의 산출량을 r 로 표현할 때, $V_i(r)$ 을 기업 i 의 기대수익의 현재값이라고 하면, <그림 1>의 게임나무(game tree)에 의해서 $V_i(r)$ 은 다음과 같이 유도된다.

$$V_i(r) = \pi_i^C(r, p(r + \sum_{j \neq i} y_j^*)) + \beta \cdot [1 - \Pr\{p < \bar{p}\}] \cdot V_i(r) + \Pr\{p < \bar{p}\} \cdot \left[\sum_{j=1}^{T-1} \beta^j \pi_i^P(S_i^*) + \beta^T V_i(r) \right] \quad (10)$$

여기서 $\Pr\{p < \bar{p}\}$ 는 시장가격이 수요불확실성에 의해서 촉발가격인 \bar{p} 아래로 떨어질 확률이며,²⁾ β 는 미래의 수익을 현재화하기 위한 이자율이다. (10)은 $V_i(r)$ 에 대해서 다음과 같이 다시 정리될 수 있다.

$$V_i(r) = \frac{\pi_i^C(r) - \delta_i}{1 - \beta + (\beta - \beta^T)\Pr(p < \bar{p})} + \frac{\pi_i^P}{1 - \beta} \quad (11)$$

앞의 정의에 의해 $\pi_i^C(r)$ 은 협조단계에서 산출량 r 을 생산함으로써 얻는 기업 i 의 기대수익이다.

이상의 논의에 근거하여 무한반복게임(infinitely repeated game)의 내쉬균형조건을 살펴보면 다음과 같다.

$$V_i(r) \leq V_i(y_i) \quad \text{for all } r \text{ and } i \quad (12)$$

식 (12)의 일계조건은 다음의 식 (13) 혹은 식 (14)과 같다.

2) III절의 (15)와 같이 수요함수가 $D(p) = \theta - bp$ 로 정의된다면, $\Pr\{p < \bar{p}\}$ 는 수요충격 θ 의 누적밀도함수 $F(\cdot)$ 에 의해 $F(b\bar{p} + (r + \sum_{j \neq i} y_j^*))$ 로 표현될 수 있다.

$$V_i'(y_i) = 0 \quad \text{for all } i \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & [1 - \beta + (\beta - \beta^T) \cdot \Pr \{ p < \bar{p} \}] \cdot \pi_i^C(y_i^*) \\ & - (\beta - \beta^T) \Pr \{ p < \bar{p} \} \cdot (\pi_i^C(y_i^*) - \pi_i^F) = 0 \quad \text{for all } i \end{aligned} \quad (14)$$

위와 같은 조건을 만족하는 내쉬균형에서는 정의상 어떤 기업도 담합에서 이탈할 유인을 가지지 않는다. 각 기업은 시장가격을 제외한 경쟁자에 대한 어떤 정보도 입수할 수 없기 때문에 각 기업들은 그들의 경쟁자들이 이윤 극대화를 추구하고 있다는 믿음을 유지하고 있다. 따라서, 내쉬균형에서 보복단계에 머물 확률은 단지 수요 불확실성에 의해서만 결정되며 그 값은 수요충격 θ 의 누적밀도함수 $F(p < \bar{p})$ 가 된다. 또한 각 참여자들은 보복단계가 단지 수요의 불확실성 때문에 유도된다는 것을 알고 있으면서도 관찰된 시장가격이 촉발가격 이하로 떨어지게 되면 내쉬균형 조건에 따라 보복단계의 행동을 취할 수밖에 없다. 다시 말해서, 가격이 떨어질 때 보복단계가 자동적으로 시작되지 않는다면, 이후부터는 담합에서 이탈하는 기업이 생겨 시장가격이 낮아지더라도 그것이 수요불확실성인지 아니면 담합에서의 이탈인지가 불분명하므로 담합에서 이탈할 유인이 발생하기 때문이다.

III. 실증분석방법

<그림 2>는 실증분석에서 시장균형의 연간 합이 어떠한 방법으로 도출되는지를 설명하고 있다.

연간 전력 수요는 수요량과 수요패턴을 감안할 때 동계, 하계, 기타계절과 같이 크게 3계절로 구분될 수 있다. 즉 1년 365일을 수요의 크기에 따라서 동계(100일), 기타 계절(115일), 하계(150일)로 나누었다. 각 계절의 수요형태는 계절별 대표일에 의해서 표현된다.³⁾ 각 대표일에서는 1시간 단위로 입찰이 이루어지는 것을 가

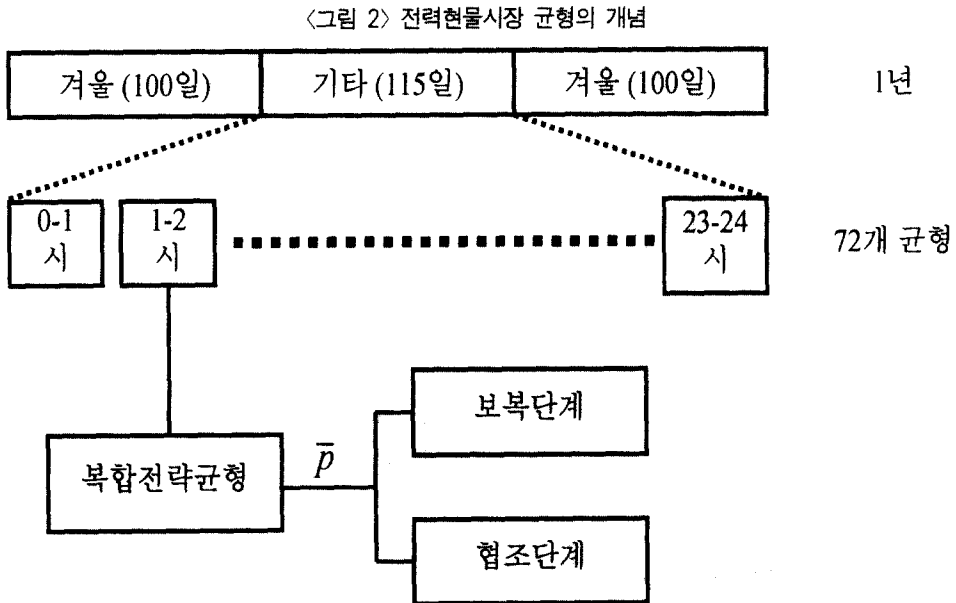
3) 이와 같이 대표적인 부하패턴을 활용한 방법은 Green and Newbery(1992) 등에서 볼 수 있는 바와 같이 전력시장분석을 위한 표준적 절차가 되고 있다. 이는 모든 시장을 분석함으로써 추가적으로 얻어지는 정보의 양과 정확도가 대표시장을 통한 분석에 비하여 크지 않기 때문이다. 이 연구에서는 1년 내 대표적인 1개 시장만을 분석한 Andersson and Bergman(1995) 등

정하여 하루에 총 24번의 시장균형을 얻게 된다. 이로서 총 8,760개의 별도 시장이 존재하는 1년간의 전력시장을 각 계절 및 시간대를 대표하는 연간 72개의 시장으로 대리묘사할 수 있게 된다. 시장청산가격, 균형전력공급물량, 후생 수준 등의 모든 결과는 1년을 단위로 평균하거나 합산되었다.

본 연구에서 사용된 수요함수는 식 (15)와 같으며, 수요불확실성 항이 추가된 형태로 나타내었다.

$$D(p) = \theta - bp \quad (15)$$

여기서 b 값은 1999년의 가격 - 물량 자료에서 수요의 가격탄력성을 0.2로 맞추어 주는 수준에서 계산되었다. 수요불확실성 모수 θ 의 누적밀도함수와 확률밀도함

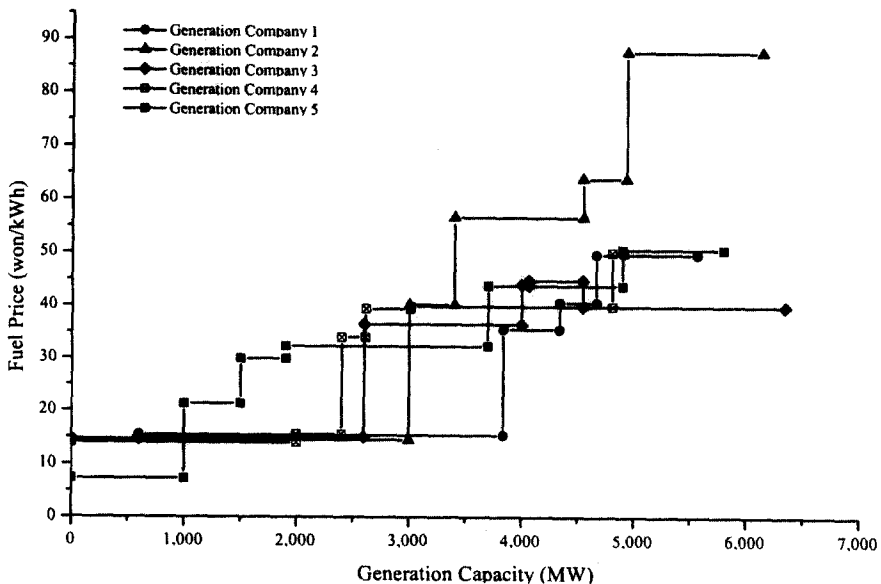


의 연구와 달리 표본시장의 대리표현력을 높이기 위하여 계절별 구분과 24시간 구분을 추가하였다. 그러나 각 계절에 대해서 대표일을 사용함으로써 매우 높은(혹은 낮은) 시장균형가격을 유발하는 최고(혹은 최저) 전력수요를 가지는 날이 모형에서 배제된다는 점에 유의할 필요가 있다. Green and Newbery(1992)는 각 계절에 대해서 평균적인 값을 가지는 대표일을 활용한 분석은 기업의 시장력을 과소평가하는 영향을 줄 수 있다고 지적하고 있다. 따라서 계절별 대표일을 활용한 이 연구는 발전회사들의 시장력 평가에 있어 보수적 결과치를 제시하는 것으로 해석되어야 한다.

수를 추정하기 위한 표본을 역시 1999년의 실제 가격 - 물량 자료와 b 값을 사용하여 계산하였다. 이러한 과정을 거쳐 우리는 θ 에 대해서 겨울 2,400개, 봄·가을 2,760개, 여름 3,600개 총 8,760개의 표본을 얻을 수 있었다.

산업자원부와 한국전력공사는 분할된 발전회사들의 발전소 구성 계획을 발표하였으며, 이 안은 2001년 3월 한국전력공사의 주주총회를 통과한 바 있다. 이에 따르면 한국전력공사의 발전부문은 5개의 화력발전회사 및 1개의 원자력발전회사로 나누어진다. 원자력발전회사의 역할은 본 연구에서 제외하도록 한다. 왜냐하면 원자력발전의 한계비용이 극히 낮은 수준이므로 발전부문 경쟁도입 이후에도 원자력발전은 여전히 기저부하로서의 역할을 할 것으로 볼 수 있기 때문이다. 산업자원부와 한국전력공사는 5개 발전회사의 발전소 구성이 최대한 대칭적이 될 수 있도록 하였다. 다음의 <그림 3>에서는 5개의 발전회사들의 부하수준별 연료가격을 나타내었다.⁴⁾

<그림 3> 5개 발전회사의 발전용량별 실제 연료가격(1999년)



4) 우리가 분석하고 있는 전력현물시장은 초단기의 시장이므로 각 발전소의 한계비용은 발전연료 가격에 따라 결정된다.

각 기업들의 연료가격으로 대변되는 한계비용의 추이는 기업 2를 제외하고는 거의 유사한 것을 알 수 있다. 5,000~6,000 MW 이상에서 기업 2의 발전연료가격 수준이 다른 기업들에 비해 높은 것은 사실이지만, 이는 시장균형에 큰 영향을 미치지 못한다. 그 이유는 앞서 가정한 바와 같이 3개의 계절에 대한 대표일을 이용하고 있으므로 균형에서는, 수요 수준이 피크 시간대에만 도달하게 되는 5,000~6,000 MW 이상 도달할 수 없기 때문이다. 이상에 근거할 때 이하의 실증분석에서는 큰 문제없이 5개의 발전회사를 동일한 발전믹스를 가지는 대칭적 회사로 가정할 수 있다.

대칭적인 발전시장을 상정할 때 가상의 평균적인 발전회사에 대한 비용함수는 <그림 4>에 나타낸 바와 같이 5개 발전회사의 모든 발전소별 연료가격을 평균함으로써 얻을 수 있다. 하지만, 이는 계단형 한계비용함수이기 때문에 시장균형을 계산하는 데 많은 어려움이 있으므로 주어진 한계비용함수를 근사시키는 연속된 형태의 비용함수를 식 (16)과 같이 추정하였다. 불필요한 편의를 없애기 위해서 정규화된 자료를 이용하였다.

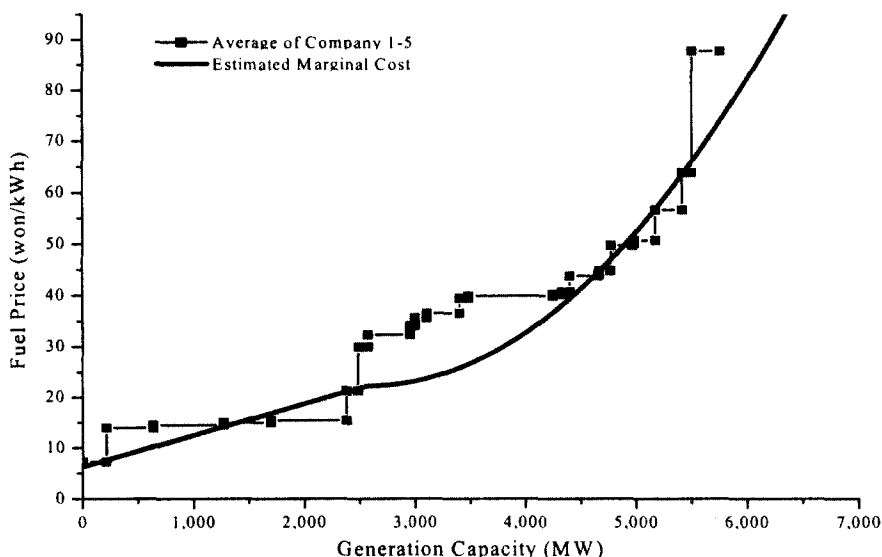
$$\begin{aligned}
 MC &= 0.2087^{**} + 0.5350^{**} \times q, & 0 \leq q \leq 1 \\
 & \quad (0.0654) \quad (0.0957) \\
 MC &= 0.7437 + 1.1282^{**} \times (q-1)^2, & q > 1 \\
 & \quad (0.0553)
 \end{aligned} \tag{16}$$

여기서 괄호 속에 표준오차를 제시하였으며 **는 계수추정치가 0.01 수준에서 통계적으로 유의하다는 것을 나타낸다. 두 번째 부분 한계비용함수의 상수항은 추정되지 않고 한계비용함수를 연속적으로 만들어줄 수 있는 수준으로 조정되었다. <그림 4>는 평균적인 발전회사의 계단형 한계비용함수와 이를 기초로 추정된 연속적인 한계비용함수를 보여준다.

앞에서 설명한 바와 같이 우리는 2가지 경쟁단계, 즉, 협조단계와 보복단계에 대해서 각각 균형을 계산하였다. 그리고, 수요 충격을 감안하여 보복단계에 머무를 확률을 구함으로써 균형전략을 (14)를 이용하여 계산하였다. 그리고 (11)의 $V(\cdot)$ 의 정의를 이용하여 기대수익의 현재합을 계산하였다.

보복단계에 머물 확률을 계산하는 과정에서 그릇된 확률밀도를 가정함으로써 야기될 수 있는 오류를 방지하기 위하여 비모수적 커널 밀도추정법을 활용하여 수요

〈그림 4〉 평균 연료가격 및 평균적인 발전회사의 추정된 한계비용곡선



불확실성 모수 θ 의 확률밀도함수를 도출하였다. 이 방법은 개별모수에 대한 밀도함수의 정확한 함수형태를 파악할 필요가 없다는 점에서 매우 편리하다. θ_i 의 비모수적 커널 밀도 추정치는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{f}(\theta_i) = \frac{1}{G} \sum_{j=1, j \neq i}^G \frac{1}{h} K\left(\frac{\theta_i - \theta_j}{h}\right) \quad (17)$$

여기서 $K(\cdot)$ 는 커널함수를 가리키며, h 와 G 는 각각 대역폭(bandwidth)과 표본의 수를 나타낸다.

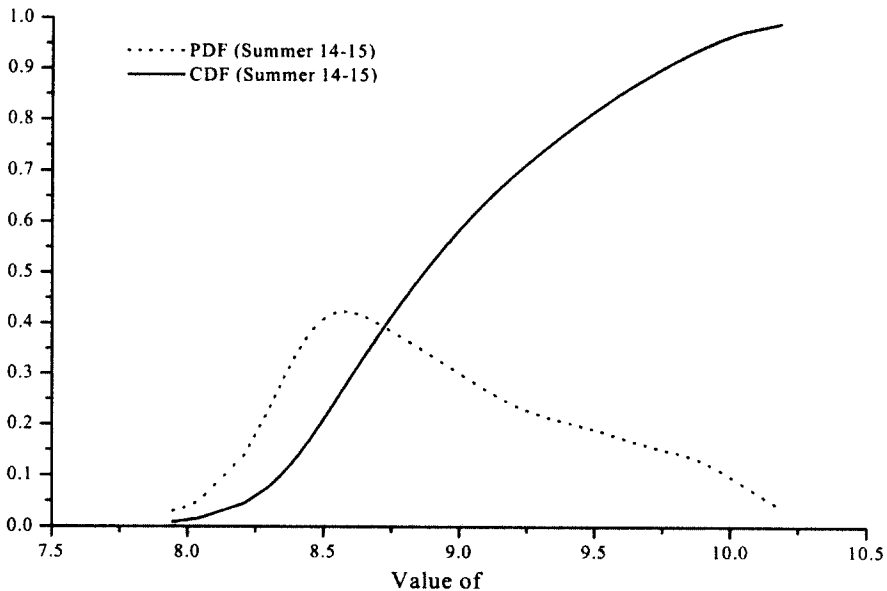
연구에서는 커널함수 $K(\cdot)$ 를 여러 실증연구에서 가장 널리 쓰이는 표준정규 확률밀도함수로 설정하였다. 한편, 대역폭의 선택은 분산과 편의 사이에서 상충관계를 가지고 있다. 즉, 대역폭이 클수록 분산은 작아지지만 편의는 커지게 되며, 그 역도 성립한다. 본 연구에서는 자료로부터 대역폭 h 를 설정하는 여러 방법 가운데 최소자승교차 유효성기준(the least squares cross-validation criterion)에 따라 h 를 선택하였다. 이는 곧 다음의 식(18)에서 정의되는 통합자승오차의 추정치를 극소화하는 h 를 밀도함수 추정에 이용한 것과 같다.

$$\frac{1}{G^2 h} \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G K^{(2)}\left(\frac{\theta_i - \theta_j}{h}\right) - \frac{2}{G^2 h} \sum_{i=1, i \neq j}^G K\left(\frac{\theta_i - \theta_j}{h}\right) \quad (18)$$

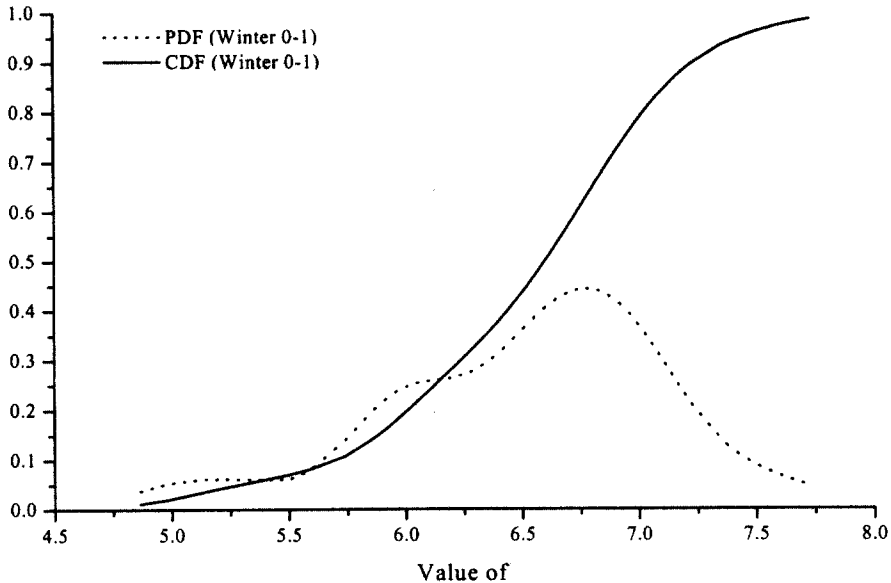
여기서 $K^{(2)}(\cdot)$ 는 $K(\cdot)$ 자신의 컨볼루션(convolution)이다. $\phi(\cdot)$ 가 표준정규 확률밀도함수이고 $K(\theta) = \phi(\theta)$ 라면, $K^{(2)}(\theta)$ 는 $(1/\sqrt{2})\phi(\theta/\sqrt{2})$, 즉, 표준정규 분포의 확률밀도함수가 된다. 이 척도는 대역폭을 설정하는 데 있어 임의성을 제거해 주고 적절한 조건 하에서 최적특성을 가지므로 자주 이용된다(Hall, 1983; Stone, 1984; Lee, 1996).

<그림 5a>와 <그림 5b>는 여름과 겨울의 특정시간대의 θ 의 누적밀도함수와 확률밀도함수 값을 추정한 결과를 예로서 나타내고 있다. II절에서 언급한 바와 같이 보복은 단지 수요 충격에 의해서만 일어나게 되므로 그 확률은 $\Pr\{p < \bar{p}\}$ 이며, 이 값은 <그림 5a>와 <그림 5b>의 θ 의 누적밀도함수에 의해서 결정되어진다.

<그림 5a> 여름 오후 2시~3시 θ 의 PDF 및 CDF



〈그림 5b〉 겨울 오전 0시~1시의 PDF 및 CDF



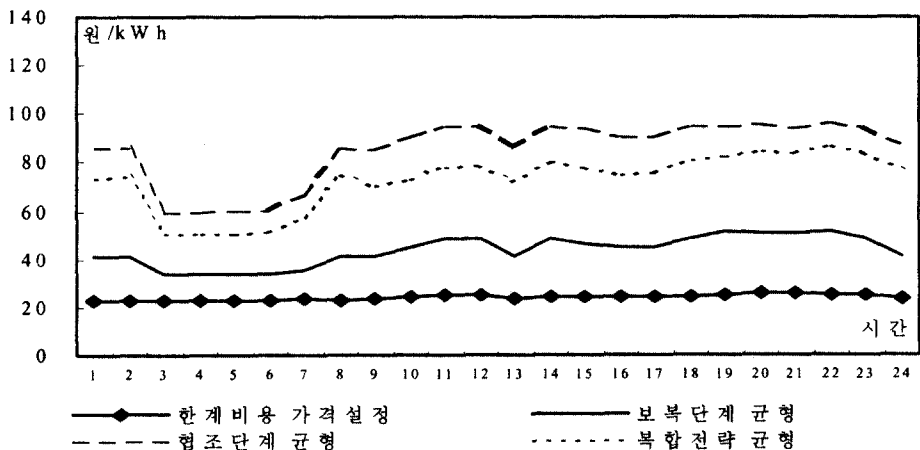
이와 같은 자료를 사용하여 우리는 각 단계에서의 균형 및 수요 불확실성하에서의 균형전략을 계산하고, 사회적 후생극대화를 반영하는 한계비용가격 균형을 비교의 기준으로 정하였다. 본 연구에서의 균형 상태는 상수로 가정되어 있는 \bar{p} , β , T 의 값에 의존한다. 먼저 촉발가격 \bar{p} 는 각 계절별, 시간대별 시장에서의 결합이윤 극대화 가격의 85% 수준으로 가정하였으며⁵⁾, 이자율 β 의 값으로는 1999년 기준 3년 만기 회사채 평균 수익률을 일 이자율로 변환시켜 사용하였다. 보복단계가 유지되는 기간 T 는 30일로 가정되었다. 이 값이 크면 클수록 각 기업이 담합에서 이탈할 확률을 낮아진다.

5) 민감도 분석의 결과 균형상태는 촉발가격 수준에 따라 변함을 확인하였다. 예를 들어 촉발가격 수준을 각 시장에서의 결합이윤 극대화 가격의 70% 수준으로 가정하면, 수요 충격이 일어나더라도 보복단계가 전혀 나타나지 않는 결과가 도출되었다. 반대로, 촉발가격 수준이 결합이윤 극대화 가격의 100%인 경우에는 이론적으로 협조단계가 나타나지 않는다. 이 연구에서는 촉발가격을 이의 중간영역인 결합이윤 극대화 가격의 85%로 가정하였다. 민감도 분석의 결과, 촉발가격이 85% 근방에서 변화하더라도 시장균형의 결과를 유의하게 변화시키지 않았다.

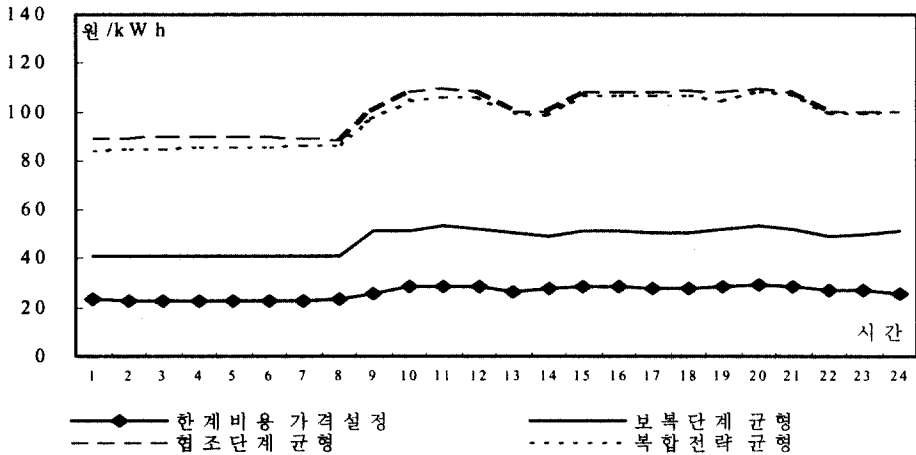
IV. 실증분석결과

〈그림 6a〉, 〈그림 6b〉, 〈그림 6c〉는 각 계절의 대표일에 대한 하루 중 전력현물 시장의 균형가격추이를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 균형전략에서 시현된 시장가격과 한계비용의 격차로 표현되는 기업의 이윤율은 예외 없이 매우 높은 수준을 보이고 있다. 기타 계절동안 균형전략에서의 시장가격은 담합단계에서의 균형가격에 매우 근접해 있는 것을 볼 수 있다. 균형전략에서의 가격수준이 담합단계의 균형가격에 얼마나 접근해있는가는 수요충격에 의해서 보복단계로 진입할 확률에 의해 결정된다. 다시 말해서, 그 확률이 작으면 작을수록 균형전략가격은 담합단계 균형가격에 접근한다. 한편 보복단계로 진입할 확률은 수요의 불안정성 정도에 의존한다. 기타 계절 θ 의 평균적인 표준편차 값은 다른 계절에 비해서 매우 낮아, 기타계절의 표준편차 값을 1.000이라고 할 때 동계는 3.017, 하계는 1.742에 해당한다. 표준편차의 크기에서도 알 수 있듯이 수요가 불안정한 겨울에 보복단계로 진입할 확률은 매우 높다. 따라서, 균형전략에서의 이윤율은 θ 의 표준편차의 크기와 역의 상관관계를 가져 봄, 가을에 가장 높고 겨울에 가장 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수요에서의 변동이 작으면 작을수록 암묵적 담합에 의한 바람직하지 못한 결과를 얻게 된다는 Bolle(1992)의 연구결과와도 일치하는 것으로 볼 수 있다.

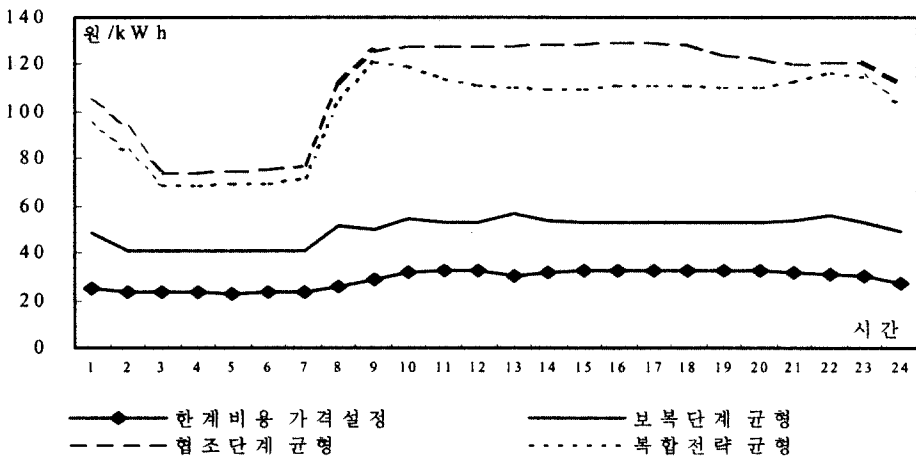
〈그림 6a〉 겨울 대표일의 현물시장 전력가격 추세



〈그림 6b〉 기타 계절 대표일의 현물시장 전력가격 추세



〈그림 6c〉 여름 대표일의 현물시장 전력가격 추세



〈표 1〉에서는 시장균형 결과를 1년을 기준으로 환산하여 제시하였다. 물량과 사회적 후생 수준은 각 대표일의 24시간 현물시장의 결과를 1년에 대해서 합산한 수치이다.⁶⁾ 가격 수준은 1년에 대해서 전력공급량을 기준으로 가중평균하여 구하였다.

6) 각 시간별 시장의 사회적 후생 수준은 해당 시장의 소비자 및 생산자 잉여의 합으로 계산되어진다. 소비자 잉여는 수요함수에서 균형가격을 P 값을 원점에서 균형물량까지 적분해줌으로써 계산가능하고, 생산자 잉여의 경우에는 각 발전회사에 대해서 균형가격에서 한계비용함수를 P 값을 원점에서 발전회사별 균형물량까지 적분한 다음, 이를 합산하여 구한다.

〈표 1〉 시장 균형

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	현재	한계비용 가격설정	협조단계 균형	보복단계 균형	복합전략 균형
공급(GWh) :					
기저	103, 829	103, 829	103, 829	103, 829	103, 829
겨울	34, 651	37, 067	19, 989	32, 102	23, 616
기타 계절	43, 798	46, 746	23, 344	40, 446	24, 180
여름	62, 164	65, 557	33, 549	57, 228	37, 605
총공급	244, 442	253, 199	180, 712	233, 606	189, 231
Pool Price (원 / KWh) :					
겨울	-	24. 14	85. 11	44. 00	72. 89
기타 계절	-	26. 43	101. 38	48. 28	98. 76
여름	-	29. 33	114. 80	50. 43	103. 42
가중평균	-	27. 00	102. 44	47. 99	93. 59
사중적 후생손실 (백 만원) :	-	0	3, 060	245	2, 452

〈표 1〉의 (1) 열의 '현재'는 1999년의 실제 전력공급량을 나타낸다. '기저'는 원자력 및 양수발전을 제외한 수력 발전소에 의해서 공급되어지는 공급량을 의미한다. 전술한 바와 같이 본 연구에서는 원자력을 'Must Run'형태로 고려하고 있으므로 모든 모형에서 동일한 상수로 취급된다.

'현재'와 비교하여 보복단계에서의 전력공급량 감소(-4. 43%)는 미미하지만, 협조단계에서의 전력공급량 감소(-26. 07%)는 매우 크게 나타나고 있다. 따라서 균형전략에서의 전력공급량 감소(-22. 59%) 역시 매우 큰 것으로 나타났다. 세 가지 계절을 비교해 보면, 균형전략에서의 전력공급량 감소는 일별 전력수요가 비교적 안정적인 기타계절에 가장 크다. 이것은 이 시기에 보복단계로 진입할 확률이 가장 낮아 균형전략에서의 이윤율이 가장 크다는 사실과 일치한다.

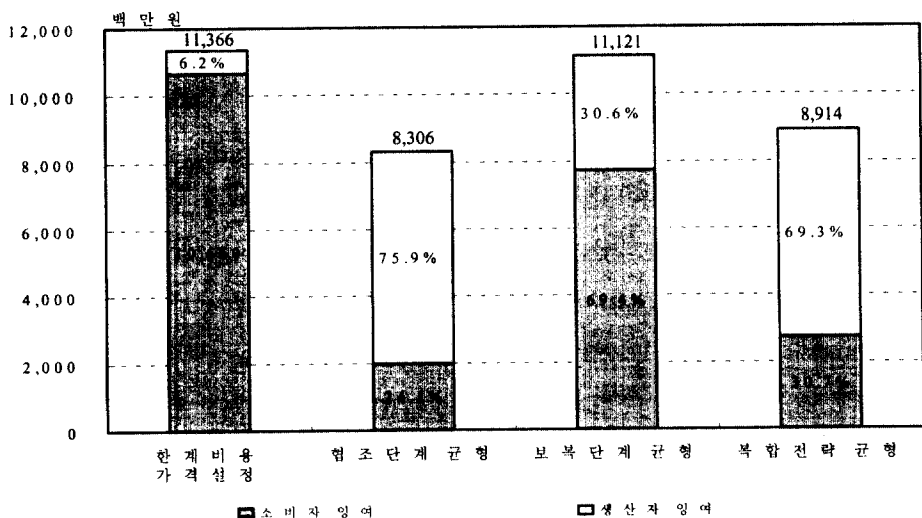
〈표 1〉에 의하면 경쟁도입 이후 담합의 가능성이 존재하는 경우 (5) 열에서 보는

바와 같이, 사회적 후생의 연간 자중손실(dead-weight loss)은 1999년의 상황을 가정할 때 약 2조 5천억 원에 이르는 것으로 분석되었다. 이는 1999년 한국전력공사 총 매출액의 약 16%에 해당하는 금액이다. 즉, 전력현물시장에서의 암묵적 담합 가능성에 대한 이론적 모형을 설정하고, 그 가능성이 충분히 존재한다는 Bolle (1992)의 결론을 받아들인다면, 본 연구의 분석결과는 국내 전력산업의 발전부문에 서의 경쟁 도입 이후 사회적 후생 측면에서 막대한 자중적 손실이 작지 않을 수 있음을 시사하고 있다.

하지만, 규제당국이 효율적으로 담합을 차단할 수 있다면, 즉 기업이 언제나 보복단계에서처럼 공급합수를 통한 경쟁을 한다면 연간 자중손실은 약 2천 4백억 원 정도로 줄어들어 담합이 존재하는 경우의 약 10분의 1 수준이 될 수 있을 것으로 분석되었다. 이는 최소한 5개의 기업이 존재하면서 담합 없이 경쟁하는 경우 사회적 후생의 자중손실이 크지 않을 수 있다는 Green and Newbery(1992)나 Andersson and Bergman(1995)의 결과와 일치한다. 이러한 분석결과는 경쟁도입 이후 발전회사간 담합을 방지하기 위한 보조적 규제장치와 감시가 사회적 후생 손실을 막기 위하여 필수적이라는 점을 보여주고 있다.

한편, 산업의 성과를 평가하는 입장에서 사회적 후생의 절대적 수준도 중요하지만 생산자와 소비자간 후생의 분배 또한 중요한 문제이다. 다음의 <그림 7>에서는

<그림 7> 균형별 후생분포



사회적 후생의 소비자 잉여와 생산자 이윤간의 배분을 요약하여 제시하였다.

<그림 7>은 발전시장에 경쟁이 도입된 후 비록 담합 가능성이 차단된다고 하더라도 분배측면에서 소비자 후생의 몫이 줄어들 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 소수의 발전사업자로 구성된 전력시장에서 기업의 이윤을 제어하거나, 소비자 후생을 보호하기 위한 유무형의 보완적 조치들이 수반되지 않을 경우 사회적으로 받아들이기 어려운 결과가 초래될 수 있음을 시사하고 있다.⁷⁾ 이와 같이 자중손실이 발생할 때 소비자 후생의 감소몫이 크다는 점은 Green and Newbery(1992)에서 이미 지적된 바 있다

V. 결론 및 정책시사점

본 연구는 규제완화를 통해 창출될 국내 전력산업 현물시장의 시장성과를 사전적으로 시뮬레이션하는 데 목적이 있다. 이를 위하여 이론적으로 Klemperer and Meyer(1989)에 의해 제시된 공급함수 균형모형과 Green and Porter(1984) 이래로 정립되어온 담합의 가능성을 포괄하여 확장된 모형을 활용하였다.

1999년의 국내전력산업 상황을 기초로 하여 시뮬레이션 한 결과 담합의 가능성이 존재할 때 낮은 공급량 수준과 높은 이윤율이 유지될 가능성이 있음을 확인하였다. 이로 인한 후생의 자중손실 규모는 1999년 한국전력공사의 전력판매 수입의 약 16%에 이를 것으로 분석되었다. 담합행동이 완벽하게 차단될 수 있다면, 공급량 감소현상과 자중손실의 규모는 작아질 수 있으나, 사회적 총 후생에서 소비자 잉여가 차지하는 몫이 크게 줄어드는 후생분배상의 문제점은 여전히 존재할 것으로 분석되었다.

이와 같이 외부적 간섭이 없는 상황에서의 순수한 전력시장성과는 후생의 절대수준이나 상대적 분배의 측면에서 바람직하지 못한 결과를 야기할 가능성이 있다. 발전부문에서의 경쟁도입이 기정 사실화된 현 시점에서 이러한 분석결과가 시사하는

7) Green and Newbery(1992)에 의하면, 영국의 규제완화 이후, 시장에 동일한 5개의 발전회사가 존재할 때, 사회적 후생의 자중손실은 2천만 파운드이지만, 이 가운데 소비자 후생의 손실은 천 7백만 파운드에 이른다는 연구결과를 제시하였다. 한편, 새로운 발전회사가 진입할 경우, 자중손실 없이 사회적 후생이 오히려 5천 4백만 파운드 증가하지만, 소비자 후생은 반대로 2천 7백만 파운드 감소한다는 실증연구의 결론을 낸 바 있다.

바를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 소수의 기업이 기술적으로 완벽하게 결합될 수밖에 없는 제한된 전력시장에 참여하고 있는 현 구조하에서 암묵적 담합의 가능성은 클 수밖에 없다. 따라서, 규제당국은 담합행위와 이로 인한 기업의 시장력 발휘로부터 전력 소비자를 보호하기 위해 반독점법의 엄격한 집행이 필요하다. 이를 위한 대안 중 가격상한규제(price cap)는 대표적인 예가 될 수 있다. Wolfram(1999)은 가격상한규제이후 발전사업자들의 이윤율이 크게 감소한 것으로 보고한 바 있다. 발전사업자들이 시장력을 발휘하지 못하도록 하는 효과적으로 규제대안으로서 발전사업자들의 발전능력, 한계비용, 수요수준, 과거의 현물시장 가격 등을 고려한 가중적인 가격상한 등이 심각하게 검토될 필요가 있다.

둘째, 전력공급을 위한 장기계약을 활성화하는 것 또한 대안이 될 수 있다. Green(1999) 등에서 제시된 바와 같이 포워드계약판매(forward contract sales)를 통해 해징이 완전하게 이루어질 수 있다면 발전사업자들은 전력현물시장에서 한계비용 이상으로 가격을 올릴 유인을 잃게 된다. 따라서, 경쟁도입 이후 규제당국은 발전사업자와 거대 전력소비자간의 장기계약을 촉진시키는 등의 방안에 대하여 고려할 필요가 있을 것으로 보여진다.

셋째, 규제당국은 발전전력시장에 존재하는 잠재적인 진입장벽을 제거하도록 노력해야 한다. <표 1>에서 쉽게 유추할 수 있듯이 경쟁도입 이후에는 높은 이윤율이 존재할 것으로 예상되므로 발전전력시장에 진입할 유인은 언제든지 존재하며, 이때 잠재적인 진입자(potential entrants)들은 시장 내 존재하는 기존기업들(incumbents)의 시장력을 간접적으로 제어하는 역할을 한다. 따라서 활발한 진입이 일어날 수 있도록 혹은 진입하고자 하는 의지가 최소한 제도적 장벽에 의해 차단되지 않도록 관련 제도를 전향적으로 개편할 필요성이 있다. 물론 이 경우 신규진입이 크림스키밍(cream skimming)을 의도하거나 CCGT(Combined Cycle Gas Turbines) 등 특정한 발전양식으로만 치우치지 않도록 사전 조정하는 메커니즘이 필요하다. 특히 건설공기가 짧고 가스사업을 병행하는 사업자의 이해에 부합되기 때문에 CCGT 등에만 치중하는 현상이 발생할 수 있는 바, 이러한 현상은 영국이나 미국의 경우 단순히 우려차원으로 그칠 수 있으나(Green, 1996), 에너지 자급도가 0%에 가까운 우리나라의 현실에서는 발전원 믹스의 부조화로 인한 공급불안정성 등 국가 경제적 문제를 야기할 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다.

경쟁도입은 그 자체가 목적이 아니라 시장효율성과 사회적 후생 증가를 달성하기

위한 수단이다. 규제완화를 실시한 지 10년 이상 지난 영국의 경우에서도 아직까지 여러 가지 문제점들을 해결하기 위해 노력하고 있는 상황이며, 캘리포니아주의 경우에는 구조적 문제점으로 말미암은 최근의 전력사태로 국가 경제가 몸살을 앓고 있다. 현재는 규제완화 혹은 경쟁도입 행위 자체가 완전경쟁성과를 가져다 줄 수 있다는 도식적 믿음에서 벗어나 바람직한 시장성과를 얻어내기 위한 보조적 장치들에 대하여 정책적 대안을 심각하게 고려해야 할 시점으로 보여진다.

■ 참고 문헌

1. Andersson, B. and L. Bergman, "Market Structure and the Price of Electricity: An Ex Ante Analysis of the Deregulated Swedish Electricity Market," *The Energy Journal*, Vol. 16, No. 2, 1995, pp. 97~109.
2. Bolle, F., "Supply Function Equilibria and the Danger of Tacit Collusion," *Energy Economics*, Vol. 14, No. 2, 1992, pp. 94~102.
3. Cyrenne, P., "On Antitrust Enforcement and the Deterrence of Collusive Behavior," *Review of Industrial Organization*, Vol. 14, No. 3, 1999, pp. 257~272.
4. Friedman, J. W., "A Non-cooperative Equilibrium for Supergames," *Review of Economic Studies*, Vol. 38, No. 113, 1971, pp. 1~12.
5. ———, "Cooperative Equilibria in Finite Horizon Noncooperative Supergames," *Journal of Economic Theory*, Vol. 35, No. 2, 1985, pp. 390~398.
6. Green, E. and R. Porter, "Noncooperative Collusion under Imperfect Price Information," *Econometrica*, Vol. 52, No. 1, 1984, pp. 87~100.
7. Green, R. J., "Cooperative Equilibria in Finite Horizon Noncooperative Supergames," *Journal of Economic Theory*, Vol. 35, No. 2, 1985, pp. 390~398.
8. ———, "Increasing Competition in the British Electricity Spot Market," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 44, No. 2, 1996, pp. 205~216.
9. ———, "The Electricity Contract Market in England and Wales," *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 47, No. 1, 1999, pp. 107~124.
10. ——— and D. M. Newbery, "Competition in the British Electricity Spot Market," *Journal of Political Economy*, Vol. 100, No. 5, 1992, pp. 929~953.
11. Hall, P., "Large Sample Optimality of Least Squares Cross Validation in Density

- Estimation," *Annals of Statistics*, Vol. 11, 1983, pp. 1146~1174.
12. Haltiwanger, J. and J. E. Harrington, Jr., "The Impact of Cyclical Demand Movements on Collusive Behavior," *Rand Journal of Economics*, Vol. 22, No. 1, 1991, pp. 89~106.
 13. Klemperer, P. D. and M. A. Meyer, "Supply Function Equilibria in Oligopoly under Uncertainty," *Econometrica*, Vol. 57, No. 6, 1989, pp. 1243~1277.
 14. Lee, M. -J., *Methods of Moments and Semiparametric Econometrics for Limited Dependent Variable Models*, New York: Springer, 1996.
 15. Rothschild, R., "Two Noncooperative Equilibria for a Collusive Duopoly with a Finite Lifespan," *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Vol. 153, No. 2, 1997, pp. 356~366.
 16. Silverman, *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman and Hall, 1986.
 17. Stone, C. J., "An Asymptotically Optimal Window Selection Rule for Kernel Density Estimates," *Annals of Statistics*, Vol. 11, 1984, pp. 1146~1174.
 18. Wolfram, C. D., "Measuring Duopoly Power in the British Electricity Spot Market," *The American Economic Review*, Vol. 89, No. 4, 1999, pp. 805~826.