

전력시장에서의 쿠르노 수요함수 추정

강동주\* 허진\* 오태규\* 정구형\* 김발호\*  
 한국전기연구원\* 홍익대학교\*

A Proposed Method for Estimating Demand function of Cournot Model in Electricity Market

Dong-Joo Kang\*, Jin Hur\*, Tae-Kyoo Oh\*, Koo-Hyung Chung\*, Balho H. Kim\*  
 KERI Hongik University

**Abstract** - At present Cournot model is one of the most commonly used theories to analyze the gaming situation in oligopoly market. But there exist several problems to apply this model to electricity market. The representative one is to obtain the inverse demand curve able to be induced from the relationship between market price and demand response. In Cournot model, each player offers their generation quantity to accomplish maximum profit, which is accomplished by reducing their quantity compared with available total capacity. As stated above, to obtain the probable Cournot equilibrium to reflect real market situation, we have to induce the correct demand function first of all. Usually the correlation between price and demand appears on the long-term basis through the statistical data analysis (for example, regression analysis) or by investigating consumer utility functions of several consumer groups classified as residential, industrial, and commercial. However, the elasticity has a tendency to change continuously according to the total market demand size or the level of market price. Therefore it should be updated as trading period passes by. In this paper we propose a method for inducing and updating this price elasticity of demand function for more realistic market equilibrium

이용한 전력시장 해석이 점점 활성화되고 있는 시점에 있다. 상기 언급한 바와 같이 이러한 쿠르노 모델이 정확한 균형점을 산출하기 위해서는 무엇보다도 정확한 수요함수가 도출되어야 한다. 기존 모델의 경우 장기간에 걸친 탐문조사나 데이터를 바탕으로 가격탄력성을 구하는 방식을 취하고 있다. 그러나 수요는 전기설비의 교체 소비자의 기호 등 여러 가지 변수로 지속적으로 변할 수 있기 때문에 이러한 고정적인 가격탄력성을 적용하는 것은 문제점이 될 수 있기 때문에 본 논문에서는 이러한 가격탄력성을 일정 거래주기 마다 갱신해줄 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 쿠르노 모델의 수요함수

쿠르노 모델에서 사용하는 수요-가격의 관계를 나타내는 함수는, 기업이 생산량을 Q 만큼 생산했을 때, 생산된 재화를 모두 판매하기 위해 받을 수 있는 최고가격과의 관계를 알려주는 함수로서 일반적인 수요함수로서 봐도 무방하나 가격이 바뀌면 가격탄력성에 기인하여 생산자들이 생산량을 줄인다는 차원에서 역수요함수로 명명하기도 한다. 본 논문에서는 역수요함수나 수요곡선 혹은 수요함수는 동일한 곡선을 지칭하는 것임을 밝혀둔다. 그림 2는 이러한 역수요함수의 예를 보인 것이다.

1. 서 론

현재 전력시장에서 발생하는 게이밍을 반영하기 위한 수리적 모델로서 가장 보편적으로 사용되는 이론 중의 하나가 쿠르노 모델이다. 쿠르노 모델을 실제 전력시장에 적용할 때 가장 어려운 점 중의 하나는 정확한 해당 모델에 사용되는 수요와 시장가격 간의 관계를 정식화한 수요반응함수(혹은 역수요함수)를 구하는 것이다. 즉, 쿠르노 모델에서는 시장수요가 시장가격에 반응한다고 가정하고 그러한 상황에서 각 발전사업자가 자신들의 이익을 최대화할 수 있는 발전량을 산출한다는 것이다. 이러한 상황에서는 일반적인 완전경쟁시장의 경우보다 발전사업자가 발전량을 일정량 줄이게 되고 그로 인해 시장가격이 상승함으로써 자신들의 이익을 상승시키게 된다는 논리가 담겨 있다. 이것은 보통 대기업 위주로 구성되어 있는, 즉 공급자가 소수이고 소비자가 다수인 공급자 중심의 과점 시장에서 잘 들어맞는 모델이라고 할 수 있다. 현재 우리나라의 경우도 6개 주요 발전사업자로 시장이 구성되어 있는 상황이기 때문에 쿠르노 모델을

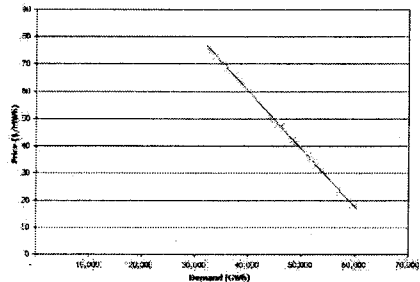


그림 1 수요함수

역수요함수는 기업이 생산계획을 Q로 결정했을 때, 생산된 재화를 모두 판다는 가정(균형분석) 하에 기업의 총수입 (P×Q)가 얼마가 될 지에 관한 정보를 제공해 준다. 기업의 생산계획 (즉 생산량) 결정은 기업의 총수입을 결정하므로, 기업은 생산계획에 대한 의사결정을 하

가위해, 자기 제품에 대한 수요함수를 추정함으로써 역 수요함수를 파악하며 결국 각 기업은 생산량에 따른 총 수입을 예상할 수 있다.

## 2.2 수요함수 추정

일반적으로 쿠르노 모델에서의 역수요 함수는 그림 2에서 보는 바와 같이  $P=C-aQ$ 와 같은 형태의 선형함수로 정의된다. 여기서의 문제는 바로 절편  $C$ 와 가격탄력성  $a$ 를 구하는 것이다. 일단 선형함수를 가정하는 과정으로 인한 부정확성은 차치하더라도 이러한 선형화를 위한 기술기와 절편을 구하는 것 역시 간단한 문제가 아니다. 그림 3은 우리나라 CBP 시장 데이터를 근거로 하여 회귀분석을 통해 수요함수를 도출한 것이다. 우리가 필요로 하는 우하향곡선 대신 우상향하는 수요곡선이 형성된다. 이는 시장가격이 소비자의 구매 패턴에 영향을 미치지 못하는 것을 보여주고 있는 것이며 실제로 우리나라의 최종수요가는 모든 제반비용을 발전량으로 나눈 평균요금 개념을 적용하고 있다.

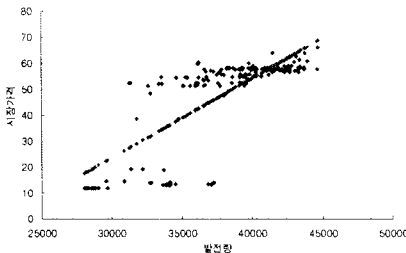


그림 2 발전단 수요와 시장가격 간의 상관관계

수요입찰이 존재하는 시장에서는 과거의 역사적 데이터를 바탕으로 이러한 수요함수를 추정하는 것이 어느 정도 가능하지만 우리나라의 경우에는 이러한 수요측 입찰이 존재하지 않기 때문에 이러한 방법으로 수요를 추정하기는 힘들다. 또한 전력통계를 바탕으로 이러한 역수요함수를 추정하는 것 역시 불가능하다. 우리나라의 요금제도는 산업부하와 가정용부하에 대한 요금이 이원화되어 있고 평균요금을 적용하기 때문에 이러한 통계 데이터를 바탕으로 수요함수를 구하면 생산량이 늘어날수록 시장가격이 상승하는 정비례관계의 함수가 도출된다. 즉, 이는 소비자가 도매전력가격에 반응하지 않으며 그로 인해 가격탄력성이 거의 존재하지 않음을 의미한다.

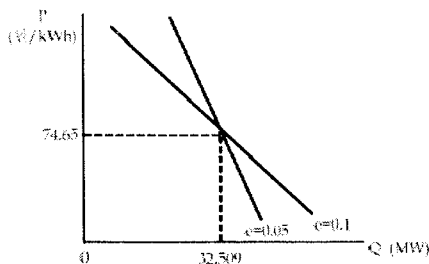


그림 3 가격탄력성과 균형점에 의한 수요곡선 도출

김남일은 다음과 같은 방법으로 역수요함수를 도출하였다. 가격탄력성은 이미 안다고 가정했을 때 특정 시점의

수요량과 시장가격을 입력하여 P 절편을 구해냈다. 해당 문헌에서는 그림 4에서 보는 바와 같이 2000년도의 평균 전기요금인 74.56원/kWh와 그에 해당하는 수요 32,509MW를 대입하여 쿠르노 모델을 위한 역수요함수를 도출하였다.

## 2.3 완전경쟁균형과 쿠르노 균형

가장 바람직한 방법은 그림 3과 같이 실제적으로 누적된 데이터로 회귀분석 등의 방법을 통해 시장가격과 전력물량간의 관계를 구하는 것이다. 그러나 현재의 CBP 시장에서는 전력수요가 가격에 반응을 보이지 않기 때문에 쿠르노 모델에서 요구하는 우하향하는 함수가 아닌 물량과 가격이 정비례하는 형태가 도출된다. 이것은 이미 기본적인 수요곡선으로서의 조건을 충족시키지 못하는 것이며, 현재의 전기요금 구조가 규제 상태에서 소비자의 가격탄력성을 반영하고 있지 못하기 때문이다.

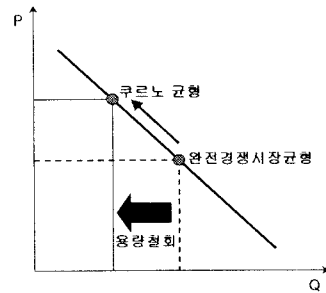


그림 4 쿠르노 균형과 완전경쟁균형  
Fig. 4 Cournot Equilibrium & Perfect Competition Equilibrium

상기 2.2절에서 역수요함수의 P절편을 구하기 위해 사용되었던  $(P,Q)=(74.65,32,509)$ 는 CBP나 TWBP 시장에서는 완전경쟁시장에서의 균형점으로 대체될 수 있을 것으로 사료된다. 쿠르노 모델이라는 것이 완전경쟁균형에서의 발전량  $Q^*$ 에서 일부 발전량을 철회함으로써 시장가격을 높이는 개념인 만큼 완전경쟁 수준에 해당하는 수요 역시 쿠르노 모델 역수요함수의 선상에 있을 것이기 때문이다. 완전경쟁시장균형은 공급자간 경쟁이 치열한 상태에서 발전사업자들이 자신의 한계비용 수준으로 입찰에 응하게 되는 경우를 말한다. 급전순위에 포함되기 위한 경쟁이 치열하기 때문에 발전사업자들은 물리적 혹은 경제적 용량철회(economic withholding) 등에 의한 게이밍을 할 여유를 갖지 못한다. 현재 CBP 시장에서의 원가 기반 입찰과 유사하다고 볼 수 있겠다. 따라서 결과적으로 쿠르노 모델은 모든 거래주기에 대하여 완전경쟁균형보다 일반적으로 높은 가격을 형성하게 된다.

매 거래주기마다 새로운 수요곡선을 생성하는 메카니즘은 다음과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 이전 거래주기의 쿠르노 균형과 완전경쟁균형을 이용하여 가격탄력성을 구한 다음 그것을 t기의 가격탄력성으로 적용하고 t기의 예측된 완전경쟁균형을 대입하여 그림 5에서의 P절편을 도출하고 그렇게 구해진 기술기(가격탄력성)과 절편으로 형성된 선형함수가 해당 거래주기의 수요곡선이 되는 것이다. t기의 가격탄력성을 구함에 있어서는 바로 t-1기의 완전경쟁균형점과 실제균형점을 이용할 수

도 있고 실제균형에 대한 정보를 얻지 못한 경우  $t-1$ 기의 수요를 그대로 쓸 수도 있다. 최신 실측 시장균형에 대한 정보가 부족할 경우  $t-2$ 기,  $t-3$ 기, ...,  $t-n$ 기 식으로 가장 근접한 실측 시장정보를 바탕으로 향후 시장의 가격탄력성에 대한 정보를 갱신할 수 있다.

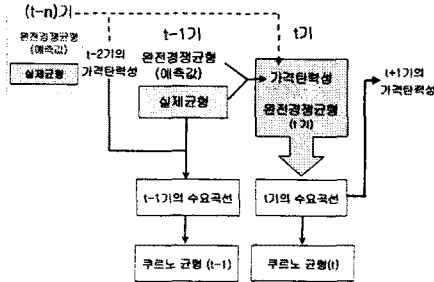


그림 5 거래주기별 가격탄력성 산출 알고리즘

### 3. 결 론

일반적으로 쿠르노 모델에서의 가격탄력성은 수요입찰이 존재하는 경우 과거 오랜 시간동안의 데이터를 통해 구해지고, 그러한 수요입찰이 존재하지 않는 경우는 대규모 수용가를 중심으로 직접적인 탐문을 통하여 실제 소비자의 효용함수를 구하는 방법이 유일하다. 그러나 이러한 방식은 한번의 소비함수를 얻는데 매우 긴 시간과 많은 노력이 들어가는 관계로 지속적으로 갱신시켜 주는 데 어려움이 있다. 또한 이러한 소비자 효용함수의 생성이 전체적으로 이루어지는 것이 아니라 대규모 수용가 혹은 부하 종류별로 이루어지는 관계로 실제로 정확성을 가지는 것인지에 대해서도 의문이다. 그리고 설사 모든 소비자를 대상으로 탐문을 통한 효용함수를 구했다 했을 지라도 실제 실시간 현물시장에서 소비자들이 그러한 효용함수를 따르는 소비패턴을 보여줄 지도 의문이다. 따라서 본 논문에서는 실제적으로 실측된 데이터가 시장의 현황을 가장 정확하게 반영하고 있다고 보고 그러한 실측 데이터와 예측 시뮬레이션을 적절히 조합하여 지속적으로 갱신될 수 있는 가격탄력성과 그에 따른 쿠르노 균형을 산출하는 과정을 보였다. 이러한 방식으로 쿠르노 균형을 갱신하는 메카니즘은 여러 측면에서 또한 시장참여자들 개개에게 의미를 제공할 수 있다. 첫째 시장운영자 입장에서는 실측 균형을 완전경쟁균형과 쿠르노 균형과 비교해 봄으로써 현재의 시장에서 어느 수준의 경쟁이 이루어지고 있는가를 측정할 수 있고 발전사업자를 비롯한 소비자 측면에서도 그러한 정보를 바탕으로 자신의 입찰전략이나 거래전략을 수립할 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 본 논문에서의 초점인 가격탄력성을 보다 정밀하고 구체적으로 산출할 수 있는 방법과 더불어 이러한 체제를 시장감시에 적용할 수 있는 방안에 대해 추가적인 연구를 수행할 생각이다. 또한 본론의 서두 부분에도 언급했듯이 쿠르노 모델은 그 범용성에도 불구하고 비현실적인 약점을 일부 가지고 있기 때문에 쿠르노 모델의 그러한 문제점과 대응 보완책에 대한 분석도 후속 연구를 통해 수행할 계획이다.

#### [참 고 문 헌]

[1] 김영세, "게임이론", 박영사, 1999  
 [2] Avinash Dixit & Susan Skcath, "Games of Strategy", NORTON, 1999

[3] Natalia Fabra, Nils-Henrik von der Fehr, David Harbord, "Designing Electricity Auctions", February 2004  
 [3] NECA, "Australia National Electricity Code"  
 [4] National Institute of Economic and Industry Research, "The price of elasticity of demand for electricity in NEM Regions", NEMMCO(National Electricity Market Management Company, 2002  
 [5] 김남일, "경쟁적 전력시장에서의 정부의 역할", 에너지경제연구원, 2001. 12.  
 [6] Glenn Drayton, "PLEXOS for Power Systems", Drayton Analytics, 2004  
 [7] 한국전기연구원, 양방향 전력시장에서의 시장지배력 행사 가능성 및 대응방안, 산업자원부, 2003.5.