

Econometric Study on Forecasting Demand Response in Smart Grid

Dong Joo Kang[†] · Sunju Park^{**}

ABSTRACT

Cournot model is one of representative models among many game theoretic approaches available for analyzing competitive market models. Recent years have witnessed various kinds of attempts to model competitive electricity markets using the Cournot model. Cournot model is appropriate for oligopoly market which is one characteristic of electric power industry requiring huge amount of capital investment. When we use Cournot model for the application to electricity market, it is prerequisite to assume the downward sloping demand curve in the right direction. Generators in oligopoly market could try to maximize their profit by exercising the market power like physical or economic withholding. However advanced electricity markets also have demand side bidding which makes it possible for the demand to respond to the high market price by reducing their consumption. Considering this kind of demand reaction, Generators couldn't abuse their market power. Instead, they try to find out an equilibrium point which is optimal for both sides, generators and demand. This paper suggest a quantitative analysis between market variables based on econometrics for estimating demand responses in smart grid environment.

Keywords : Electricity Market, Demand Response, Cournot Model, Demand Function

스마트그리드 수요반응 추정을 위한 계량경제학적 방법에 관한 연구

강 동 주[†] · 박 선 주^{**}

요 약

쿠르노 모델은 경쟁적 전력시장을 게임이론 기반으로 모델링하기 위한 대표적인 모델이다. 이전 연구에서도 쿠르노 모델을 이용하여 전력시장을 모델링 하기 위한 다양한 시도가 이루어져 왔다. 쿠르노 모델은 몇 개의 주요 발전사업자들이 경쟁하고 그로 인해 시장지배력이 존재하는 과점 시장모델에 적합하다. 쿠르노 모델로 시장을 모델링함에 있어서는 우하향 하는 수요함수의 존재가 선결되어야 한다. 과점에서 시장참여자들은 시장지배력을 활용하여 그들의 이익을 극대화하려고 노력하지만, 우하향하는 시장수요함수에 의해 매출 역시 하락하기 때문에 적당한 지점에서 이러한 시장지배력의 행사를 제한하여야 한다. 스마트그리드에서는 실시간으로 변동하는 요금제와 다양한 전산기반 톨의 활용으로 인해 이러한 수요반응이 더욱 활성화될 것이고, 이 경우 쿠르노 모델은 수요반응 솔루션의 주요 모델로 활용될 것이다. 이에 본 논문은 실제 시장에서 계량경제학적인 접근으로 전력시장의 수요곡선을 추정하는 방법에 대해 제안한다.

키워드 : 전력시장, 수요반응, 쿠르노 모델, 수요함수

1. 서 론

수요반응은 스마트그리드 체제에서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 경쟁적 전력시장 분석을 위해 많은 모델들이 적용되어 있고, 그 중의 대표적인 모델 중의 하나가 쿠르노

모델이다. 이러한 추세에 따라 현재 국내 논문이나 상용 솔루션에도 쿠르노 모델을 전력시장 수요반응 모델링에 적용하려는 시도가 있어 왔다. 이러한 수요반응 모델이 스마트 가전이나 스마트 홈에 내장됨으로써 인간을 대신해서 실시간 가격에 직접 반응하게 된다. 쿠르노 모델은 기본적으로 공급과 시장가격 간의 역비례 관계를 가정하고 있다. 즉, 수요함수의 탄력성에 비례하여, 공급이 늘어나면 시장가격이 하락하고, 반대로 공급이 줄어들면 시장가격이 상승한다는 것이다. 쿠르노모델을 전력시장에 적용하는 경우, 문제가 발생하는데 이러한 공급과 시장가격 간에 역비례관계가 성립하지 않는다는 것이다. 이는 우리나라의 전력산업에서 오래

※ 본 연구는 에너지기술평가원의 "RTDS를 이용한 계통연계형 마이크로 그리드 운용 멀티에이전트시스템 개발" 사업의 연구결과로 수행되었음.

† 정 회 원: 한국전기연구원 선임연구원

** 정 회 원: 연세대학교 경영학과 부교수

논문접수: 2012년 11월 5일

심사완료: 2012년 11월 14일

* Corresponding Author: Sunju Park(boxenju@yonsei.ac.kr)

기간 공급자에게 부과되어온 공급의 의무 때문이다. 공급의 의무란 공영기업인 한국전력이 국내에서 발생하는 전력수요에 한해서는 영업수지와 관계없이 의무적으로 수요를 충족하여야 한다는 법제화된 조항으로, 예를 들면 소수의 사람만이 거주하는 산간벽지나 도서지역 같은 곳이라도 송전설비를 시설하여 전기를 공급하여야 한다는 것이다. 이는 전력사업의 공익적 측면을 강조한 것으로 최근 그 경향이 다소 완화되고 있지만 아직까지 소매 부문에는 여전히 강한 규제의 영향력이 잔존하고 있다. 이렇다 보니 전력시장에서는 사실상 전력시장가격에 반응하는 공급 및 수요의 탄력성을 기대할 수 없고, 이러한 상황에서 쿠르노 모델을 CBP 도매전력시장에 적용한다는 것도 한계가 있다고 할 수 있겠다. 본 논문에서는 현재의 CBP 시장에서 시장가격, 전력공급, 전력수요 간에는 어떠한 관계가 성립하며, 기존의 쿠르노 모델을 보완하기 위한 대안은 없는지 고찰해 본다.

2. 쿠르노 모델과 CBP 시장

쿠르노 모델은 게임이론과 더불어 기존의 국내의 많은 연구에서 적용되어 왔다. 최근 몇 년 동안 협조 및 비협조 게임에 근거하여 경쟁적 전력시장에서 시장참여자들의 전략적 입찰행위에 대한 분석이 활발하게 진행되어 왔다. 그러한 과정에서 게임이론은 유용한 틀이 되어 왔으며, 이제 자연스러운 하나의 분석틀로 자리 잡게 되었다. 쿠르노 모델은 이러한 게임 이론 내 비협조게임 기반의 모델로서 단순성과 명료성으로 인해 자주 활용되고 있으며, 특히 과점 시장에서의 사업자들의 전략적 용량 철회나 그로 인한 소비자의 반응, 시장가격 등의 상호 연동 관계를 묘사하기에 적합하다. 전력시장에서도 소비자의 가격 탄력성이 존재한다고 가정할 경우, 각 발전사업자의 최적 발전량을 결정하기 위한 틀로서 쿠르노 모델이 활용되었다[1]. 이 때 주요 결정변수인 발전량은 발전사업자들의 입찰량이나 실제 발전량으로 정의된다. 외국의 경우는 실제로 수요 측 입찰이 존재하기 때문에 이러한 공급량에 대한 수요측의 탄력성이 어느 정도 존재하고 있다. 그러나 우리나라의 경우는 공급자 측면에서의 입찰 과정만이 존재하는 시장이고, 평균화된 전기요금 적용되고 있기 때문에 이러한 수요측 반응을 기대하기는 힘든 실정이다. 그럼에도 불구하고 쿠르노 모델은 다수의 논문 상에서 엄격한 가정 하의 이론적 접근이라는 명목으로 CBP 시장의 분석에 적용되고 있다. 이는 국내 시장이 주요 6개 발전사업자로 구성된다는 점에서 과점 시장에 가까우며, 아직까지 쿠르노 모델을 대체할 만한 명료한 모델이 없기 때문이기도 하다. 쿠르노 모델과 베르트랑 모델의 장점을 취합한 공급곡선 모델이 도입되기도 했지만 그 만큼 복잡성과 경우의 수가 증가한다는 측면에서 여전히 그 적용 빈도나 수준이 미진한 수준에 머물고 있다. 쿠르노 모델이 이러한 상황적 부적합성에도 불구하고 적용에 대한 시도가 많이 이루어지고 있다는 것은 그만큼 장점이 있기 때문이며, 이에 CBP 시장의 특수성을 반영할 수 있는 쿠르노 모델을 수

립할 수 있다면 새로운 이론에 대한 도입 없이도 기존의 검증된 모델에 기반한 효용성 있는 모델을 유도할 수 있으리라 기대된다. 전력이란 산업 및 주거 측면에서 기본적으로 사용되는 필수 소비재에 가까운 만큼 가격에 대해 크게 반응하는 사치재와는 다른 측면이 있다. 따라서 그 수요는 일정 수준 이상의 가격 변동이 없는 한 그 패턴이 거의 일정하다고 볼 수 있다. 따라서 지속적으로 반복되는 전력시장에서 각 발전사업자들은 절기별, 시간별로 일정 오차 범위 내에서의 수요를 비교적 정확하게 예측할 수 있을 것이며, 이에 따라 자신들의 입찰 물량을 결정하게 될 것이다. 이 경우 입찰량 내지 발전량 자체는 전력수요에 비례하므로 쿠르노 모델에서의 가정과는 달리 정비례관계를 가지게 된다. 따라서 실제 발전량이 아닌 입찰량과 시장가격 간의 관계를 분석해 볼 필요가 있다. Fig. 1은 한국전력거래소에서 공시되는 실제 시장 데이터[1]를 활용하여 전력수요 예측치와 시장가격간의 상관관계를 선형 회귀분석을 통해 분석한 것이다.

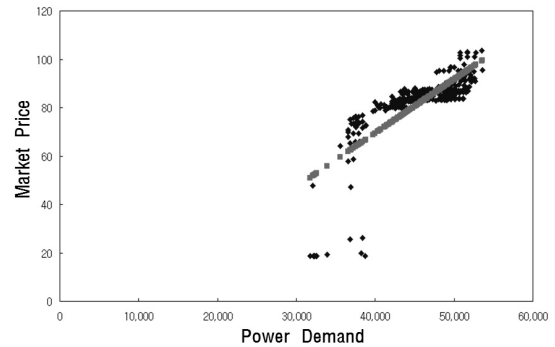


Fig. 1. Correlation between Power Demand and Market Price in CBP Market

전력시장에서는 매 시각 실시간으로 수급균형이 일치해야 하므로, 실시간 수요량 자체가 거의 시장가격 수준으로 반영되는 관계를 가지게 된다. 특히나 CBP 시장의 경우는 원가기반의 입찰제이기 때문에 발전사업자가 예상 시장수요에 따라 입찰가격을 조작하는 것이 불가능하기 때문에 이러한 비례 관계는 고착화된다. 그러나 실제로 쿠르노 모델을 적용하기 위해서는 실제로 공급과 수요 간에 다음과 같은 우하향 관계가 성립하여야 한다.

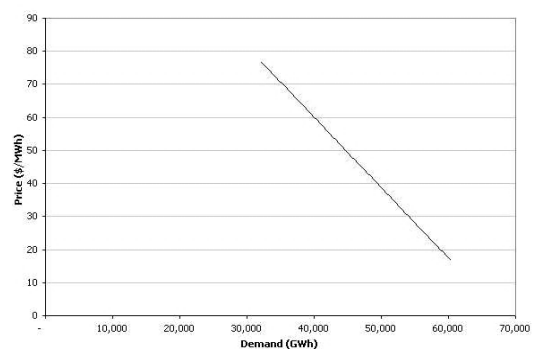


Fig. 2. Demand Function of Cournot Model[2]

쿠르노 모델을 CBP 시장에 적용하기 위해서는 공급과 수요 간에 새로운 관계설정이 필요한데, 본 논문에서는 공급량(입찰량 내지 발전량)에 대한 변수를 수정하는 형태로 일정 수준의 가격탄력성을 가지는 반비례 수요함수를 유도하고자 하였다. 발전사업자의 입찰량과 전력수요량 사이에는 일정 수준의 마진(여유용량)이 존재하게 되고 이 경우 이러한 마진이 클수록 전력시장가격이 하락할 가능성이 커짐을 직관적으로 짐작할 수 있다. 여유용량이 많다는 그 만큼 기동 상태에 있는 발전기가 많다는 것이며, 그로 인해 상대적으로 발전비용이 낮은 발전기들이 많이 들어와 있고 실제 발전할 확률이 높아지기 때문이다. 따라서 이러한 가설 하에 쿠르노 수요함수에 적용할 수 있는 관계가 도출되는 지를 검증하고, CBP 시장에 적용 가능한 특화된 형태의 쿠르노 모델을 구성할 수 있다. 이 모델은 CBP 시장에서 발전사업자의 유일한 전략변수라고 할 수 있는 가용 발전용량 입찰과 관련하여, 시장가격 변수와의 관계 사이의 상호작용을 반영한 수정 내지 특화된 형태의 쿠르노 모델로 간주할 수 있겠다. Fig. 3은 상기 개념에 근거하여 CBP 시장 적용을 위한 쿠르노 모델을 구현하기 위한 절차를 도식화한 것이다.

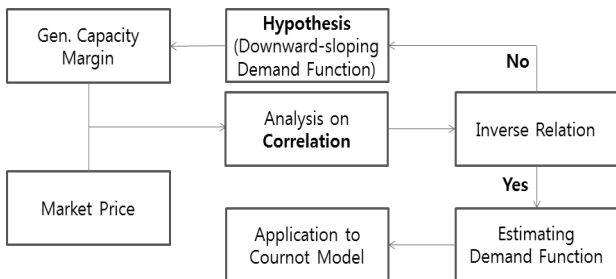


Fig. 3. Process of Estimating Demand Function of Cournot Model

이러한 기본적인 가설에 근거하여 계량경제학적인 접근과 실제 시장 데이터를 활용해 가설을 검증하고, 실제 가설에서와 동일한 관계를 가지는가를 검증해보기로 한다.

3. 계량경제학적 접근을 통한 정량적 관계 분석

본 절에서는 발전용량마진과 전력시장가격 간의 관계를 도출하기 위해 회귀분석을 도입하여 정량적 관계를 나타내는 계수를 유도한다. 회귀 분석 모델을 수립하기 위해서는 합리적 가정에 근거한 가설을 수립하고 기본적 모델을 수립한 다음 역사적 데이터(historical data)를 활용한 모델의 계수(parameter) 값들을 구하게 된다. 회귀분석 모델이 완성되면 다른 데이터나 미래의 경우에 적용하여 모델이 타당성이 있는지를 검증하고, 향후 지속적인 활용이나 이론화를 진행한다. Fig. 4가 이러한 절차를 도식적으로 보여주고 있다.

본 사례연구에서는 전력시장가격¹⁾과 그에 영향을 미치는 변수들 간의 상관관계를 분석해 보고자 한다. 전력시장가격

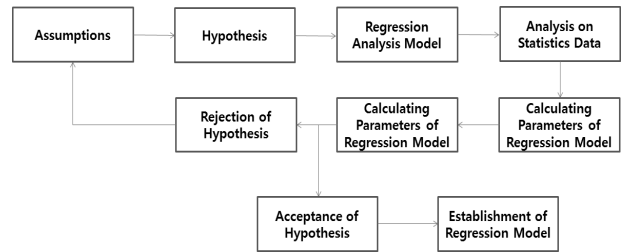


Fig. 4. Procedure of Regression Model

은 1시간 단위로 결정되지만 설명변수와의 시간 단위를 맞추기 위해서 1개월 단위로 평균하여 적용하였다. Fig. 5는 실시간으로 변동하는 전력시장가격과 발전비용 간의 관계를 나타낸 것으로, 두 시장가격들은 발전출력이 가용용량 한계에 도달할수록 그 상승폭이 높아짐을 확인할 수 있다. 전력시장가격에 영향을 미치는 요소에는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 크게 전력수요와 발전용량 마진의 2가지 변수에 한정하여 분석해 보기로 한다. 전력수요는 말 그대로 특정 시점에 소비자가 얼마나 많이 전기를 쓰는가를 나타내는 수치로, 본 연구에서는 월별 MWh 단위로 표현한다. 발전용량

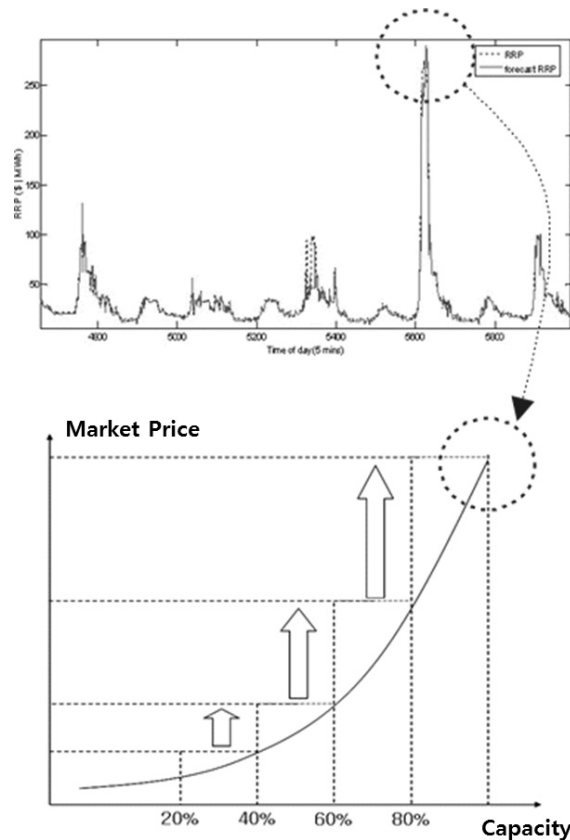


Fig. 5. Correlation between Market Prices and Generation Capacities

1) 여기서의 전력시장이란 발전사업자와 배전사업자 사이에 형성되는 도매시장을 일컫는 것으로 소비자가 직접적으로 납부하게 되는 전기요금과는 개념상의 차이가 있음에 유의한다.

마진이란, 실제로 발전사업자들이 공급 의사를 가지고 공급 의사가 있다고 입찰에 응한 물량과, 시장에 실제로 공급된 물량간의 차이를 나타낸 것으로 이러한 차이는 발전사업자의 입찰가격, 전력시스템의 물리적 제약 등 여러 가지 요인에 의해서 나타난다. Fig. 6은 발전용량 마진에 대한 개념을 도식화한 것이다.

미시경제학의 쿠르노 모델에 근거하여 직관적으로 생각해 볼 때 시장에 공급이 늘어나면 시장가격은 하락할 확률이 높아진다. 단 본 연구에서의 공급이란 실제로 발전하고 남은 여유 발전용량, 즉 발전용량 마진을 의미한다. 따라서 전력수요는 전력시장가격상승에 (+) 상관관계를 가지는 변수로, 발전용량 마진은 (-) 상관관계를 가지는 변수로 가설을 수립하였다.

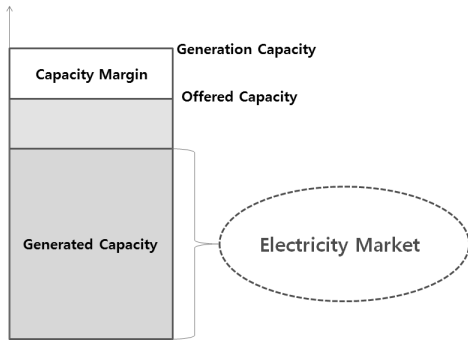


Fig. 6. Concept of Capacity Margin

상기 개념에 근거할 경우, 설명변수는 전력수요 X_{1i} , 발전용량 마진 X_{2i} 2개이며, 종속변수는 시장가격 Y_i 가 된다. 그러므로 분석 대상이 되는 모형은 설명변수가 둘이면서 종속변수와의 선형관계를 가지는 다중 회귀모형이 되며, 다음과 같은 형태로 정식화 될 수 있다.

$$\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \epsilon_i \quad (1)$$

다중 회귀분석에서는 다음과 같은 가정이 전제된다[4,5].

- 가정 1 : 오차항 ϵ_i 의 기댓값 내지 평균값은 0, 즉 $E[\epsilon_i] = 0$ 이 된다.
- 가정 2 : 오차항 제곱의 기댓값은 모든 X_{1i}, X_{2i} 에 대해서 $E[\epsilon_i^2] = \sigma_\epsilon^2$ 로 일정하다. 즉, 등분산 가정이 전제된다.
- 가정 3 : 오차항들은 서로 독립적으로, 서로 오차끼리의 공분산은 0 이다. 즉, $E[\epsilon_i \epsilon_j] = 0 (i \neq j)$
- 가정 4 : 임의의 오차 ϵ_i 는 다른 독립(설명)변수와 독립적으로 $E[\epsilon_i X_i] = X_i E[\epsilon_i] = 0$ 이 성립한다. 이 때 오차는 확률변수인데 반해, 독립변수는 비확률변수이다.
- 가정 5 : 오차항은 정규분포를 따르고, 가정 2를 동시에 고려하면 분산이 σ_ϵ^2 인 정규분포 $\epsilon_i \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$ 의 형태로 표현할 수 있다.

가정 6. 관측된 값들의 개수가 독립변수의 수보다 최소한 2 이상 커야 하며 이는 연립방정식 체계를 이용하는 최소자승법의 해를 구하기 위함이다.

가정 7. 설명 변수들 간의 1차 함수 관계에 있어서는 안되며, 이럴 경우 한 설명 변수로 다른 설명변수까지도 설명할 수 있게 되므로, 불필요한 설명 변수가 의미 없이 삽입된 형태를 취하기 때문이다.

오차의 자승합을 최소로 하는 최소자승법을 적용할 경우,

$$\text{Min } L = \text{Min} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2)$$

와 같이 정식화 되고 (1)식을 (2)식에 대입하면

$$\text{Min } L = \text{Min} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}_1 X_{1i} - \hat{\beta}_2 X_{2i})^2 \quad (3)$$

함수 L 의 값을 최소화하기 위해서는 변수 $\hat{\alpha}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ 에 대한 편미분 값이 각각 0가 되어야 하며, 식 (4)와 같은 형태로 표현될 수 있다.

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\alpha}} = \frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}_1} = \frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}_2} = 0 \quad (4)$$

식 (4)를 정리하면 (5)~(7)과 같은 정규방정식의 형태로 표현할 수 있다. 이 경우 표본의 크기를 n 으로 가정하였다.

$$n\hat{\alpha} + \left(\sum_{i=1}^n X_{1i}\right)\hat{\beta}_1 + \left(\sum_{i=1}^n X_{2i}\right)\hat{\beta}_2 = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n X_{1i}\right)\hat{\alpha} + \left(\sum_{i=1}^n X_{1i}^2\right)\hat{\beta}_1 + \left(\sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i}\right)\hat{\beta}_2 = \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} \quad (6)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n X_{2i}\right)\hat{\alpha} + \left(\sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i}\right)\hat{\beta}_1 + \left(\sum_{i=1}^n X_{2i}^2\right)\hat{\beta}_2 = \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} \quad (7)$$

여기서 미지수는 식 (4)에서도 알 수 있듯이 $\hat{\alpha}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ 이고, 방정식 역시 3개 이므로 이 경우 각 미지수는 유일한 해를 가지며, 크래머 규칙(Cramer's rule)을 적용하여 다음과 같은 형태로 $\hat{\beta}_1$ 과 $\hat{\beta}_2$ 의 값을 구할 수 있다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n Y_i & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i \end{vmatrix} \quad (9)$$

단, (8),(9)식에서의

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix} \quad (10)$$

(1)식의 양변에 기댓값을 취하면 $\overline{Y_i} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 \overline{X_{1i}} + \hat{\beta}_2 \overline{X_{2i}}$ 이 되므로,

$$\hat{\alpha} = \overline{Y_i} - \hat{\beta}_1 \overline{X_{1i}} - \hat{\beta}_2 \overline{X_{2i}} \quad (11)$$

로 구할 수 있다. (8),(9)의 벡터식을 스칼라 형태의 식으로 변환하면

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{2i}^2 \sum_{i=1}^n y_i x_{1i} - \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} \sum_{i=1}^n y_i x_{2i}}{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i})^2} \quad (12)$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n y_i x_{2i} - \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} \sum_{i=1}^n y_i x_{1i}}{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i})^2} \quad (13)$$

여기서, $x_{1i} = X_{1i} - \overline{X_1}$, $x_{2i} = X_{2i} - \overline{X_2}$, $y_i = Y_i - \overline{Y}$ (14)

상기 계산에 따라 $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$ 의 값이 결정되고, 그 결과를 통해 변수 간의 상관관계를 추정할 수 있다. 이를 통해 변수 간의 상관관계를 추정할 수 있고 이 결과에 따라 쿠르노 모델의 적용 여부를 판단할 수 있다. 상관관계가 가설과 일치할 경우 어떻게 쿠르노 모델에 적용할 것인가에 대한 문제가 남아있는데 이는 구체적인 수치의 결과에 따라 달라지므로 실제 적용은 다음 절의 사례 연구에서 보이기로 한다.

Table 1. Data of Offered & Traded Capacity

Dates (Year/Month)	Offered Capacity (MWh)	Trading Volumue (MWh)
2001/04	26,063,376	19,766,414
2001/05	26,935,911	21,337,483

2001/06	27,545,271	21,413,776
2001/07	30,410,344	23,165,211
2001/08	31,710,063	23,126,770
2001/09	29,070,376	21,800,416
2001/10	28,799,987	21,254,723
2001/11	29,727,119	22,765,106
2001/12	30,762,430	24,396,969
2002/01	29,756,780	24,401,856
2002/02	27,366,325	21,132,154
2002/03	29,163,025	23,624,880
2002/04	27,906,937	22,252,113
2002/05	28,855,682	23,025,655
2002/06	30,376,302	22,545,203
2002/07	32,779,335	24,475,785
2002/08	33,745,344	23,560,488
2002/09	29,702,725	21,968,461
2002/10	30,145,442	23,647,884
2002/11	29,671,679	24,834,309
2002/12	32,780,864	26,401,744
2003/01	33,408,009	27,211,122
2003/02	28,652,597	23,654,595
2003/03	31,856,260	25,892,570
2003/04	29,381,450	23,545,711
2003/05	29,807,198	23,297,378
2003/06	30,772,563	23,492,367
2003/07	35,523,304	24,854,818
2003/08	35,366,460	25,055,807
2003/09	32,403,177	23,366,917
2003/10	34,211,684	25,578,393
2003/11	33,042,952	25,505,558
2003/12	34,190,378	28,053,591
2004/01	33,485,621	27,199,651
2004/02	30,651,690	26,005,748
2004/03	32,532,248	27,126,143
2004/04	31,077,378	24,694,221
2004/05	32,650,745	25,252,601
2004/06	32,354,973	25,288,987
2004/07	35,607,051	27,280,215
2004/08	37,847,847	27,628,386
2004/09	33,404,014	25,145,427
2004/10	33,367,103	26,220,575
2004/11	33,967,718	26,849,535
2004/12	37,073,259	29,353,507
2005/01	36,001,137	30,210,046
2005/02	33,533,374	26,528,935
2005/03	35,797,752	29,491,138
2005/04	35,007,993	26,564,140
2005/05	36,477,142	27,024,035
2005/06	35,099,268	26,717,407
2005/07	37,225,290	28,712,593
2005/08	39,254,370	28,888,527
2005/09	34,743,338	26,417,230
2005/10	36,334,683	27,344,777
2005/11	35,964,042	28,400,771
2005/12	38,289,129	32,560,967
2006/01	39,532,284	31,552,568
2006/02	35,332,478	28,924,934
2006/03	36,355,846	30,278,329
2006/04	34,504,847	27,558,511
2006/05	35,969,309	27,768,662
2006/06	35,607,873	27,797,878

2006/07	39,532,336	29,546,570
2006/08	40,933,480	32,020,034
2006/09	36,955,693	28,374,334
2006/10	38,076,129	27,984,005
2006/11	36,486,194	29,930,264
2006/12	39,165,290	33,127,665

Table 2. Data of Capacity Margin, Power Demand, and Market Prices

Dates (Year/Month)	Capacity Margin (MW-h)	Power Demand (MW-h)	Market Price (Won/kW-h)
2001/04	6,296,962	30,664	47
2001/05	5,598,428	30,802	48
2001/06	6,131,495	32,038	48
2001/07	7,245,133	33,557	49
2001/08	8,583,293	33,519	48
2001/09	7,269,960	32,458	48
2001/10	7,545,264	30,864	48
2001/11	6,962,013	34,116	47
2001/12	6,365,461	35,639	49
2002/01	5,354,924	35,923	49
2002/02	6,234,171	34,305	47
2002/03	5,538,145	34,508	47
2002/04	5,654,824	33,405	46
2002/05	5,830,027	33,295	46
2002/06	7,831,099	33,538	46
2002/07	8,303,550	35,813	47
2002/08	10,184,856	34,838	47
2002/09	7,734,264	33,572	47
2002/10	6,497,558	34,698	46
2002/11	4,837,370	37,416	48
2002/12	6,379,120	38,386	50
2003/01	6,196,887	39,279	50
2003/02	4,998,002	37,713	51
2003/03	5,963,690	37,185	49
2003/04	5,835,739	35,332	49
2003/05	6,509,820	34,186	50
2003/06	7,280,196	35,288	48
2003/07	10,668,486	36,104	47
2003/08	10,310,653	36,519	46
2003/09	9,036,260	35,204	48
2003/10	8,633,291	36,570	48
2003/11	7,537,394	37,794	48
2003/12	6,136,787	40,512	49
2004/01	6,285,970	39,419	48
2004/02	4,645,942	40,307	50
2004/03	5,406,105	39,167	49
2004/04	6,383,157	36,916	49
2004/05	7,398,144	36,261	48
2004/06	7,065,986	38,184	48
2004/07	8,326,836	39,981	48
2004/08	10,219,461	40,135	49
2004/09	8,258,587	37,287	49
2004/10	7,146,528	37,741	50
2004/11	7,118,183	39,866	51
2004/12	7,719,752	42,122	51
2005/01	5,791,091	43,652	53
2005/02	7,004,439	42,117	51
2005/03	6,306,614	42,280	51
2005/04	8,443,853	39,148	47

2005/05	9,453,107	38,514	48
2005/06	8,381,861	40,194	49
2005/07	8,512,697	42,019	50
2005/08	10,365,843	41,893	49
2005/09	8,326,108	39,662	52
2005/10	8,989,906	39,590	50
2005/11	7,563,271	42,589	54
2005/12	5,728,162	47,738	56
2006/01	7,979,716	45,534	56
2006/02	6,407,544	46,346	56
2006/03	6,077,517	44,136	58
2006/04	6,946,336	41,480	57
2006/05	8,200,647	39,676	54
2006/06	7,809,995	41,667	49
2006/07	9,985,766	42,331	48
2006/08	8,913,446	46,085	51
2006/09	8,581,359	42,067	50
2006/10	10,092,124	40,444	49
2006/11	6,555,930	44,617	55
2006/12	6,037,625	47,921	56

Table 1~2를 토대로 (12),(13)에 필요한 값들을 계산하면, Table 3~6과 같다. Table 2, 3은 한 범주의 데이터이지만 지면 관계상 두 개의 표로 분리한 것이다.

Table 3. Data of Regression Analysis (1)

Dates	Y	X_1	X_2	x_{1i}
2001/04	47	6,296,962	30,664	-1,035,136
2001/05	48	5,598,428	30,802	-1,733,670
2001/06	48	6,131,495	32,038	-1,200,603
2001/07	49	7,245,133	33,557	-86,965
2001/08	48	8,583,293	33,519	1,251,195
2001/09	48	7,269,960	32,458	-62,138
2001/10	48	7,545,264	30,864	213,166
2001/11	47	6,962,013	34,116	-370,085
2001/12	49	6,365,461	35,639	-966,637
2002/01	49	5,354,924	35,923	-1,977,174
2002/02	47	6,234,171	34,305	-1,097,927
2002/03	47	5,538,145	34,508	-1,793,953
2002/04	46	5,654,824	33,405	-1,677,274
2002/05	46	5,830,027	33,295	-1,502,071
2002/06	46	7,831,099	33,538	499,001
2002/07	47	8,303,550	35,813	971,452
2002/08	47	10,184,856	34,838	2,852,758
2002/09	47	7,734,264	33,572	402,166
2002/10	46	6,497,558	34,698	-834,540
2002/11	48	4,837,370	37,416	-2,494,728
2002/12	50	6,379,120	38,386	-952,978
2003/01	50	6,196,887	39,279	-1,135,211
2003/02	51	4,998,002	37,713	-2,334,096
2003/03	49	5,963,690	37,185	-1,368,408
2003/04	49	5,835,739	35,332	-1,496,359
2003/05	50	6,509,820	34,186	-822,278
2003/06	48	7,280,196	35,288	-51,902
2003/07	47	10,668,486	36,104	3,336,388
2003/08	46	10,310,653	36,519	2,978,555
2003/09	48	9,036,260	35,204	1,704,162
2003/10	48	8,633,291	36,570	1,301,193
2003/11	48	7,537,394	37,794	205,296
2003/12	49	6,136,787	40,512	-1,195,311

2004/01	48	6,285,970	39,419	-1,046,128
2004/02	50	4,645,942	40,307	-2,686,156
2004/03	49	5,406,105	39,167	-1,925,993
2004/04	49	6,383,157	36,916	-948,941
2004/05	48	7,398,144	36,261	66,046
2004/06	48	7,065,986	38,184	-266,112
2004/07	48	8,326,836	39,981	994,738
2004/08	49	10,219,461	40,135	2,887,363
2004/09	49	8,258,587	37,287	926,489
2004/10	50	7,146,528	37,741	-185,570
2004/11	51	7,118,183	39,866	-213,915
2004/12	51	7,719,752	42,122	387,654
2005/01	53	5,791,091	43,652	-1,541,007
2005/02	51	7,004,439	42,117	-327,659
2005/03	51	6,306,614	42,280	-1,025,484
2005/04	47	8,443,853	39,148	1,111,755
2005/05	48	9,453,107	38,514	2,121,009
2005/06	49	8,381,861	40,194	1,049,763
2005/07	50	8,512,697	42,019	1,180,599
2005/08	49	10,365,843	41,893	3,033,745
2005/09	52	8,326,108	39,662	994,010
2005/10	50	8,989,906	39,590	1,657,808
2005/11	54	7,563,271	42,589	231,173
2005/12	56	5,728,162	47,738	-1,603,936
2006/01	56	7,979,716	45,534	647,618
2006/02	56	6,407,544	46,346	-924,554
2006/03	58	6,077,517	44,136	-1,254,581
2006/04	57	6,946,336	41,480	-385,762
2006/05	54	8,200,647	39,676	868,549
2006/06	49	7,809,995	41,667	477,897
2006/07	48	9,985,766	42,331	2,653,668
2006/08	51	8,913,446	46,085	1,581,348
2006/09	50	8,581,359	42,067	1,249,261
2006/10	49	10,092,124	40,444	2,760,026
2006/11	55	6,555,930	44,617	-776,168
2006/12	56	6,037,625	47,921	-1,294,473
합 계	3,420	505,914,730	2,644,126	-32

Table 4. Data of Regression Analysis (2)

Dates	x_{2i}	y_i	x_{1i}^2
2001/04	-7,657	-3	1,071,505,578,370
2001/05	-7,519	-2	3,005,610,060,858
2001/06	-6,283	-2	1,441,446,450,006
2001/07	-4,764	-1	7,562,830,562
2001/08	-4,802	-2	1,565,490,088,554
2001/09	-5,863	-2	3,861,073,409
2001/10	-7,457	-2	45,439,941,275
2001/11	-4,205	-3	136,962,563,958
2001/12	-2,682	-1	934,386,193,178
2002/01	-2,398	-1	3,909,215,192,376
2002/02	-4,016	-3	1,205,442,678,962
2002/03	-3,813	-3	3,218,265,702,253
2002/04	-4,916	-4	2,813,246,515,344
2002/05	-5,026	-4	2,256,215,895,816
2002/06	-4,783	-4	249,002,460,843
2002/07	-2,508	-3	943,719,889,361
2002/08	-3,483	-3	8,138,230,852,601
2002/09	-4,749	-3	161,737,864,580
2002/10	-3,623	-4	696,456,237,534
2002/11	-905	-2	6,223,665,480,034

2002/12	65	0	908,166,184,563
2003/01	958	0	1,288,702,961,572
2003/02	-608	1	5,448,001,972,258
2003/03	-1,136	-1	1,872,539,185,216
2003/04	-2,989	-1	2,239,088,868,954
2003/05	-4,135	0	676,140,346,592
2003/06	-3,033	-2	2,693,769,463
2003/07	-2,217	-3	11,131,487,981,165
2003/08	-1,802	-4	8,871,792,650,743
2003/09	-3,117	-2	2,904,169,702,916
2003/10	-1,751	-2	1,693,104,430,153
2003/11	-527	-2	42,146,638,036
2003/12	2,191	-1	1,428,767,278,027
2004/01	1,098	-2	1,094,382,822,063
2004/02	1,986	0	7,215,431,564,829
2004/03	846	-1	3,709,447,249,621
2004/04	-1,405	-1	900,488,141,304
2004/05	-2,060	-2	4,362,135,376
2004/06	-137	-2	70,815,349,716
2004/07	1,660	-2	989,504,611,300
2004/08	1,814	-1	8,336,867,771,903
2004/09	-1,034	-1	858,382,726,473
2004/10	-580	0	34,436,052,777
2004/11	1,545	1	45,759,428,811
2004/12	3,801	1	150,275,983,279
2005/01	5,331	3	2,374,701,144,709
2005/02	3,796	1	107,360,116,366
2005/03	3,959	1	1,051,616,483,083
2005/04	827	-3	1,236,000,211,218
2005/05	193	-2	4,498,681,145,394
2005/06	1,873	-1	1,102,003,329,862
2005/07	3,698	0	1,393,815,093,850
2005/08	3,572	-1	9,203,611,538,934
2005/09	1,341	2	988,056,802,081
2005/10	1,269	0	2,748,328,902,541
2005/11	4,268	4	53,441,170,351
2005/12	9,417	6	2,572,609,204,387
2006/01	7,213	6	419,409,674,613
2006/02	8,025	6	854,799,241,359
2006/03	5,815	8	1,573,972,321,892
2006/04	3,159	7	148,811,962,836
2006/05	1,355	4	754,378,171,012
2006/06	3,346	-1	228,385,985,876
2006/07	4,010	-2	7,041,956,315,597
2006/08	7,764	1	2,500,662,963,862
2006/09	3,746	0	1,560,654,204,856
2006/10	2,123	-1	7,617,746,080,700
2006/11	6,296	5	602,436,044,300
2006/12	9,600	6	1,675,659,147,059
합 계	-23	-30	152,253,516,613,722

Table 5. Data of Regression Analysis (3)

일시	x_{2i}^2	y_i^2	$x_{1i}x_{2i}$
2001/04	58,624,544	7	7,925,687,756
2001/05	56,530,348	2	13,034,883,353
2001/06	39,471,900	2	7,542,985,534
2001/07	22,692,520	0	414,270,062
2001/08	23,056,003	2	-6,007,823,552
2001/09	34,370,860	2	364,291,662
2001/10	55,601,878	2	-1,589,511,265

2001/11	17,679,222	7	1,556,082,113
2001/12	7,191,336	0	2,592,196,978
2002/01	5,748,805	0	4,740,603,082
2002/02	16,125,579	7	4,408,906,994
2002/03	14,536,427	7	6,839,743,036
2002/04	24,163,779	13	8,244,917,613
2002/05	25,257,325	13	7,548,905,825
2002/06	22,873,900	13	-2,386,557,667
2002/07	6,288,392	7	-2,436,078,962
2002/08	12,128,967	7	-9,935,206,810
2002/09	22,549,835	7	-1,909,754,481
2002/10	13,123,714	13	3,023,258,560
2002/11	818,422	2	2,256,896,844
2002/12	4,268	0	-62,261,199
2003/01	918,403	0	-1,087,910,097
2003/02	369,259	2	1,418,352,054
2003/03	1,289,739	0	1,554,054,825
2003/04	8,932,128	0	4,472,116,879
2003/05	17,095,468	0	3,399,843,520
2003/06	9,197,067	2	157,400,059
2003/07	4,913,611	7	-7,395,661,095
2003/08	3,246,003	13	-5,366,364,094
2003/09	9,713,611	2	-5,311,306,345
2003/10	3,064,834	2	-2,277,956,024
2003/11	277,378	2	-108,122,804
2003/12	4,801,942	0	-2,619,323,822
2004/01	1,206,336	2	-1,148,996,744
2004/02	3,945,520	0	-5,335,600,280
2004/03	716,280	0	-1,630,031,683
2004/04	1,973,088	0	1,332,945,140
2004/05	4,242,227	2	-136,033,700
2004/06	18,678	2	36,368,577
2004/07	2,756,707	2	1,651,597,429
2004/08	3,291,805	0	5,238,639,778
2004/09	1,068,467	0	-957,681,276
2004/10	336,013	0	107,568,475
2004/11	2,388,055	2	-330,569,263
2004/12	14,450,135	2	1,473,603,835
2005/01	28,423,115	12	-8,215,619,513
2005/02	14,412,147	2	-1,243,901,023
2005/03	15,676,320	2	-4,060,231,148
2005/04	684,480	7	919,792,354
2005/05	37,378	2	410,061,830
2005/06	3,509,378	0	1,966,556,889
2005/07	13,677,669	0	4,366,250,350
2005/08	12,761,565	0	10,837,550,045
2005/09	1,799,175	6	1,333,299,369
2005/10	1,611,207	0	2,104,311,543
2005/11	18,218,669	20	986,725,401
2005/12	88,686,167	41	-15,104,795,590
2006/01	52,032,178	41	4,671,487,852
2006/02	64,405,975	41	-7,419,850,313
2006/03	33,818,102	71	-7,295,804,012
2006/04	9,981,387	55	-1,218,749,280
2006/05	1,836,928	20	1,177,174,040
2006/06	11,197,947	0	1,599,204,213
2006/07	16,082,773	2	10,642,095,096
2006/08	60,284,872	2	12,278,116,589
2006/09	14,035,013	0	4,680,149,864
2006/10	4,508,544	0	5,860,456,191
2006/11	39,643,813	30	-4,887,009,531

2006/12	92,166,400	41	-12,427,367,839
합 계	1,178,541,980	550	35,263,272,197

Table 6. Data of Regression Analysis (4)

Dates	x_1, y_i	x_2, y_i
2001/04	2,655,348	19,641
2001/05	2,713,570	11,768
2001/06	1,879,204	9,834
2001/07	49,154	2,693
2001/08	-1,958,393	7,516
2001/09	97,259	9,176
2001/10	-333,652	11,671
2001/11	949,347	10,786
2001/12	546,360	1,516
2002/01	1,117,533	1,355
2002/02	2,816,420	10,301
2002/03	4,601,878	9,780
2002/04	5,979,845	17,525
2002/05	5,355,208	17,918
2002/06	-1,779,049	17,051
2002/07	-2,491,987	6,433
2002/08	-7,317,946	8,934
2002/09	-1,031,644	12,181
2002/10	2,975,315	12,916
2002/11	3,904,791	1,416
2002/12	-414,338	28
2003/01	-493,570	417
2003/02	-3,348,920	-872
2003/03	773,448	642
2003/04	845,768	1,689
2003/05	-357,512	-1,798
2003/06	81,237	4,747
2003/07	-8,558,562	5,686
2003/08	-10,619,198	6,423
2003/09	-2,667,385	4,878
2003/10	-2,036,651	2,740
2003/11	-321,334	824
2003/12	675,610	-1,239
2004/01	1,637,417	-1,719
2004/02	-1,167,894	864
2004/03	1,088,604	-478
2004/04	536,358	794
2004/05	-103,377	3,224
2004/06	416,522	214
2004/07	-1,556,982	-2,599
2004/08	-1,631,988	-1,025
2004/09	-523,668	584
2004/10	-80,682	-252
2004/11	-306,921	2,217
2004/12	556,200	5,454
2005/01	-5,293,022	18,312
2005/02	-470,119	5,447
2005/03	-1,471,346	5,681
2005/04	-2,851,894	-2,122
2005/05	-3,319,841	-303
2005/06	-593,345	-1,059
2005/07	513,304	1,608
2005/08	-1,714,726	-2,019
2005/09	2,420,199	3,266
2005/10	720,786	552

2005/11	1,025,204	18,929
2005/12	-10,320,976	60,598
2006/01	4,167,284	46,416
2006/02	-5,949,301	51,641
2006/03	-10,582,114	49,051
2006/04	-2,868,053	23,489
2006/05	3,851,828	6,011
2006/06	-270,116	-1,891
2006/07	-4,153,568	-6,277
2006/08	2,268,891	11,140
2006/09	543,157	1,629
2006/10	-1,560,015	-1,200
2006/11	-4,218,302	34,219
2006/12	-8,329,649	61,776
합 계	-55,304,991	616,748

Table 3~6의 데이터를 식 (12)와 (13)에 대입하여 계산할 수 있다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{2i}^2 \sum_{i=1}^n y_i x_{1i} - \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} \sum_{i=1}^n y_i x_{2i}}{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i})^2}$$

$$= \frac{1,178,541,980 \times (-55,304,991) - 35,263,272,197 \times 616,748}{152,253,516,613,722 \times 1,178,541,980 - (-55,304,991)^2}$$

$$= \frac{-65,179,253,597,022,180 - 21,748,552,600,955,356}{179,437,160,931,898,821,049,560 - 3,058,642,029,510,081}$$

$$= \frac{-86,927,806,197,977,536}{179,437,157,873,256,791,539,479} = -4.84 \times 10^{-7}$$

(15)

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n y_i x_{2i} - \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} \sum_{i=1}^n y_i x_{1i}}{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i})^2}$$

$$= \frac{152,253,516,613,722 \times 616,748 - 35,263,272,197 \times (-55,304,991)}{152,253,516,613,722 \times 1,178,541,980 - 35,263,272,197^2}$$

$$= \frac{93,902,051,864,479,816,056 + 1,950,234,951,485,635,227}{179,437,160,931,898,821,049,560 - 1,243,498,366,039,713,206,809}$$

$$= \frac{95,852,286,815,965,451,283}{178,193,662,565,859,107,842,751}$$

$$= 5.38 \times 10^{-4}$$

(16)

$$\hat{a} = \bar{Y}_i - \hat{\beta}_1 \bar{X}_{1i} - \hat{\beta}_2 \bar{X}_{2i}$$

$$= 50 - (-4.84 \times 10^{-7}) \times 7,332,098 - 5.38 \times 10^{-4} \times 38,321$$

$$= 50 + 3.55 - 20.62 = 32.93$$

(17)

초기 가설에서 정의한 바와 같이 전력시장가격 Y_i 에 대해 발전용량마진 X_{1i} 의 계수 $\hat{\beta}_1$ 은 (-), 전력수요 X_{2i} 의 계수 $\hat{\beta}_2$ 는 (+)의 상관관계를 가짐을 확인할 수 있다. 단, 상기 표 1에서 발전용량 마진과 전력수요는 MW-h 단위이고, 전력시장가격은 kW-h 단위이므로 상기 (15),(16),(17)에서 구한 β_1, β_2, α 의 값에 1,000을 곱해주어야 한다. 그러면 $\beta_1 = -4.84 \times 10^{-4}$, $\beta_2 = 0.538$, $\alpha = 32.93$ 으로 산출될 수 있다. 이 결과로 미루어 볼 때 확실히 전력수요 β_2 는 발전용량마진 β_1 에 비해 큰 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 따라서, 탄력성이 높진 않지만 입찰량과 시장가격 간의 우하향 함수가 도출될 수 있다. 개별 발전기의 발전용량마진은 계통 내지 시장 전체 차원에서의 예비력으로 해석될 수 있으며 이러한 예비력과 시장가격 사이의 관계식이 다음 Fig. 7과 같이 유도된다. 발전사업자는, 이 관계식이 수요함수로 적용된 쿠르노 모델에 따라 발전용량마진을 결정하고, 전력수요예측에 근거하여 실제로 발전되리라 예상되는 물량을 더하여 입찰물량을 결정할 수 있다. 쿠르노 모델의 상세한 전개 과정은 본 논문에서 생략한다.

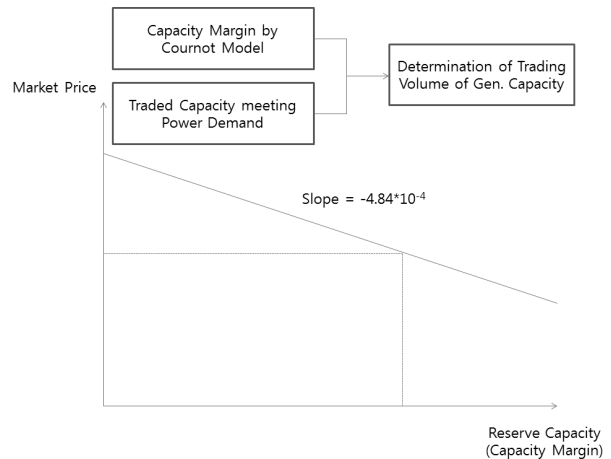


Fig. 7. Quantitative Correlation between Reserve Capacities & Market Prices

4. 결 론

본 논문은 쿠르노 모델을 CBP 시장에 적용하기 위한 방법과 그러한 방법의 적용을 위해 계량경제학적 접근을 통한 시장 데이터 분석에 대한 것이다. 국내외 학술적 차원에서 쿠르노 모델을 전력시장에서의 발전사업자 입찰전략 모델 수립 및 분석에 활용하려는 시도가 많이 있어 왔고 또 진행 중에 있다. 기존의 수직통합 체제에서와는 달리 경쟁적 시장 체제에서는 발전사업자 개별 주체가 의사결정권자가 되고, 그로 인해 시장에서 상호 작용적인 경쟁 활동 및 게임 상황이 연출된다. 이러한 상황은 기존의 최적화 모델에 근거한 단일 정식화로는 한계가 있기 때문에, 이를 보완하기 위해 쿠르노 모델과 같은 게임이론에 근거한 방법들이 많이

적용되고 있다. 다양한 게임이론이 있음에도 불구하고 쿠르노 모델이 널리 활용되는 이유는 다수 플레이어가 참여하는 경쟁적 상황에 대한 모델링이 가능하고, 그 과정이나 모델 자체가 단순하면서도 명료하기 때문이다. 일반적인 게임이론의 경우는 플레이어의 수가 3인 이상이 되면 수식이나 해법 과정이 지나치게 복잡해지고, 그러한 과정에서 너무 엄격한 가정이 첨가되거나 비현실적인 해법이 도출되는데, 이론 단계에서 이러한 문제가 발생한다면 현실적 적용은 더욱 요원한 측면이 있다. 따라서 본 논문에서는 현실 적용 가능성이 상대적으로 큰 쿠르노 모델을 대상으로, 일반적인 해의 전력시장과는 다른 특수한 조건 하에 있는 CBP 시장을 대상으로 적용하기 위해서 필요한 전제 조건과 방법에 대해 고찰해 본 것이다. 국내 논문에서도 CBP 시장에 쿠르노 모델을 적용하기 위한 시도가 있었지만 이는 가격탄력성이 존재하는 수요곡선을 가정했다는 측면에서 현실과는 괴리가 있는 측면이 있었다. 따라서 본 논문에서는 되도록 현실 데이터를 있는 그대로 반영하되 기존의 쿠르노 모델을 적용하는 과정에서 독립변수의 수정 및 순차적 적용을 통해 해당 모델의 구현 가능한 방법을 모색해 본 것이다.

참 고 문 헌

[1] Korea Power Exchange (www.kpx.or.kr)
 [2] Drayton Analytics, PLEXOS Knowledge Base (www.plexos.in-fo)
 [3] F.S. Wen, A.K. David, Oligopoly electricity market production under incomplete information, IEEE Power Eng. Rev. 21 (4) (2001) 58-61.
 [4] J.S. Ryu, Fundamental Econometrics, Jeon-Young-Sa, 2003, pp.94-154.
 [5] Robert V. Hogg, Allen Craig, Joseph W. McKean, Introduction to Mathematical Statistics, the 6-th edition, PEARSON/Prentice Hall, 2005, pp.557-564.

[6] J. Y. Seo, "Text driven construction of discourse structures for understanding descriptive texts," Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin, TX, USA, 1990.
 [7] Thomas Claburn, Google Chrome 18 brings faster graphics [Internet], <http://www.techweb.com/news/232800057/google-chrome-18-brings-faster-graphics.html>.



강 동 주

e-mail : dj kang@keri.re.kr

1999년 홍익대학교 전자전기제어공학과

2001년 홍익대학교 전기정보제어공학과

(공학석사)

2012년 홍익대학교 전기정보제어공학과

(공학박사)

2010년~현재 연세대학교 경영학과 박사과정

2001년~현재 한국전기연구원 선임연구원

관심분야: 스마트그리드, 전력시장, 의사결정이론, 게임이론, 소셜 네트워크, 게임화



박 선 주

e-mail : boxenju@yonsei.ac.kr

1989년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)

1991년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1999년 University of Michigan

컴퓨터공학(박사)

1999년~2005년 Rutgers University

경영학과 조교수

2005년~현재 연세대학교 경영학과 부교수

관심분야: 블로그 월드, 온라인 사회연결망, 스마트그리드, 옥션, 인공지능, 의료경영, 네트워크 가격정책