

# 송전선이용료를 반영한 전력거래의 내쉬협상게임해법

論 文

51A-7-1

## A Nash Bargaining Solution of Electric Power Transactions Reflecting Transmission Pricing in the Competitive Electricity Market

金發鎬\*·姜東周\*\*

(Kang Dong-Joo · Kim Bal Ho)

**Abstract** - It has been a basic model for the present electric power industry that more than two generators compete, and thereby the market clearing price and the generation schedules are determined through the bid process. In order for this paradigm to be applicable to real electric power systems and markets, it is necessary to reflect many physical and economic constraints related to frequency and transmission in the dispatching schedule. This paper presents an approach to deriving a Nash bargaining solution in a competitive electricity market where multiple generators are playing with the system operator who mitigates the transmission congestion to minimize the total transaction cost. In this study, we take the effect of the line flows and the role of system operator into the Game. Finally, a case study has been demonstrated to verify the proposed cooperative game.

**Key Words** : Game theory, Nash bargaining solution, Transmission costs, Bidding strategy, Profit maximizing

### 1. 서 론

경쟁적 전력시장을 해석하는 데 있어 최근 가장 활발한 연구가 진행 중인 분야들 가운데 하나가 게임이론을 도입하여 경쟁적 상황을 해석하는 부문이다. 현재까지의 게임이론[1]에서는 경쟁관계에 있는 둘 이상의 발전사업자가 자신과 상대방의 발전비용을 고려하여 가격과 급전량을 결정하는 방식이었다. 그러나 이러한 전략수립과정은 실제 계통에서 유효하기 위해서는 단순히 발전비용 만이 아닌 급전시 수반되는 계통의 송전계약과 송전선이용료도 함께 고려되어야 한다. 발전사업자는 이러한 상황을 고려하여 송전선이용료가 자신의 수입을 감소시키지 않도록 입찰전략을 수립하여야 할 것이다. 이는 곧 전력이라는 최종적인 생산물을 생산하여 판매하는 발전사업자와 송전사업자의 협력게임이라 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 Nash Bargaining Solution(NBS) 기법[2,3,4,5]을 도입하여 게임이론적 측면에서 발전사업자와 송전사업자의 이익 극대화 전략을 결정하는 문제로 정식화함과 동시에 송전측면에서 설비투자비를 적정수준으로 회수하고 계통의 신뢰도를 유지할 수 있는 거래 메커니즘을 구현하고자 하였다.

### 2. 경쟁적 전력시장에서의 전력거래

#### 2.1 전력거래게임

전력산업의 경쟁체제는 다수의 발전사업자들과 다수의 수요자가 서로 경쟁하면서 전력을 거래하도록 하는 것을 목적으로 한다. 여기서 전력수요자란 직접 전력을 소비하는 수용가일 수도 있고 최종수용가에게 전력을 판매하는 도매업자일 수도 있다. 개별 발전기 혹은 발전사업자들은 분산적이고 독자적인 의사결정과정에서 이루어진다. 그러나 전력의 공급은 계통 안전성(system security)을 유지하기 위해 계통관리자의 중앙통제를 받아야 한다. 그러므로 이러한 측면에서 경쟁적 거래시장이라도 다른 상품과는 달리 별도의 관리 및 운영 메커니즘을 필요로 한다. 일반적인 상품시장에서의 다수의 기업간 경쟁활동은 가격과 상품의 질 등 다양한 전략선택 조합을 가지고 무한 경쟁하는 비협조적 게임이다. 그러나 전력거래게임은 앞서 기술하였듯이 거래의 장이 되는 전력계통의 특수성 때문에 시장참여자간의 협력체계가 불가피하다. 전력거래는 크게 풀 체제(Pool System)과 양자거래체제(Bilateral Contract system)을 통하여 이루어지는데 어떠한 시장 형태이든 계약을 체결하고 이행하기에 앞서 그 계약이 과연 전력계통에서 수용될 수 있는가에 대한 고려와 조율이 필요하다. 이 점에서 시장참여자들 즉 발전사업자와 송전사업자의 협력 판매 게임(cooperative bargaining game)으로 볼 수 있다.

#### 2.2 내쉬협상게임(Nash Bargaining Game)

A, B 두 회사가 제휴하여 물건을 생산·판매한다고 했을

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 委囑研究員

\*\* 正 會 員 : 弘益大學 電子電氣學科 助教授 · E博

接受日字 : 2000年 12月 20日

最終完了 : 2002年 5月 10日

때 최종적으로 생산한 재화를 통해 얻을 수 있는 매출(가치)이  $v$ (value)라고 하면, 두 회사는 협상의 과정을 거쳐  $v$ 에 대한 분배비율을 결정하게 된다. 만약 협상에 실패한다면 두 회사는 각자의 노선을 가게 되고 그로 인해 얻게 되는 가치는 A, B 각각  $a, b$ 가 된다. 이 때의  $a, b$ 는 하버드 협상 과제(Harvard Negotiation Project)에서 도입된 전문용어로서 백스톱 보수(backstop payoff)로 정의되며, 보통 0의 값을 가지지만 일반적 관점에서  $a+b < v$ 로 정의한다. 반대로 협상 과정을 통해 합의에 성공하였다면, 두 회사는 제휴를 통해  $(v-a-b)$ 의 잉여를 얻게 된다. 두 회사가 총잉여  $(v-a-b)$ 를  $h:k$ 의 비율로 분배하면, 다음의  $x, y$ 의 수식 형태로 각 사업자의 매출을 모델링 할 수 있다.

$$x = a + h(v - a - b) \tag{1}$$

$$y = b + k(v - a - b) \tag{2}$$

이 두 식을 내쉬공식(Nash formulas)이라고 부르며, 다음의 형태로 통합될 수 있다.  $(v-a-b)$ 가 공통이므로,

$$\frac{y-b}{x-a} = \frac{k}{h} \tag{3}$$

또한 잉여  $(v-a-b)$ 는 A, B가 남김없이 분배하여야 하므로

$$x + y = v \tag{4}$$

를 만족한다. (3), (4)를 연립하여 풀게 되면 내쉬협력게임의 해(Nash cooperative solution)를 구할 수 있고 도식화하면 그림 1과 같고, 그림 2는 일반화시킨 비선형함수에 대한 내쉬협상해법(Nash Bargaining Solution)을 도식화한 것이다.

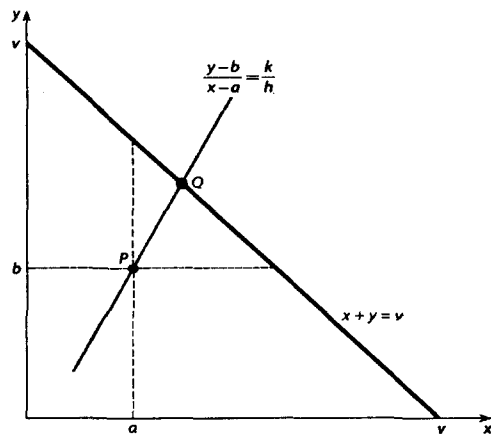


그림 1 선형 내쉬협상해법  
Fig. 1 Linear Nash Bargaining Solution

그림 1에서의 Q점이 내쉬 균형점이 되며, P점은 내쉬균형 이외의 차선책으로서 반타(BANTAs: best alternative to a negotiated agreement)로 명명된다.  $(y-b)/(x-a) = k/h$ 는 모든 두 사업자의 선택전략조합  $(x, y)$ 의 상관관계를 나타

내는 그래프이며, 식 (4)의  $x + y = v$ 는 두 사업자의 이득을 최적으로 재분배하는 제약조건을 의미한다. 그림 2에서 북동방향으로 볼록(convex)한  $y=f(x)$ 는 그림 1에서의  $(y-b)/(x-a) = k/h$ 와 마찬가지로 두 사업자 A, B의 발생 가능한 반응곡선을 도식화한 것이다. 여기에  $c_2 = h \log(x-a) - k \log(y-b)$ 로 표현된 제약조건의 접점 Q가 이 경우의 내쉬균형점으로 결정된다. 여기서 P점은 그림 1의 경우와 마찬가지로 A, B가 제휴를 하지 않았을 경우의 백스탑 보수(backstop payoff)  $(a,b)$ 를 나타낸다.

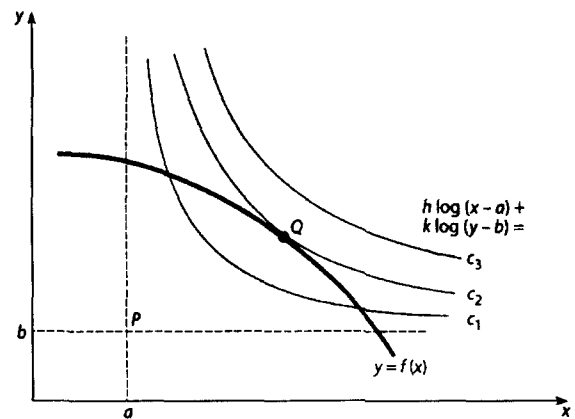


그림 2 비선형 내쉬협상해법  
Fig. 2 Generalized Nash Bargaining Solution

<내쉬협상해의 원칙(The principle of NBS)>

- (i) 불변성(invariance): 임의의 강단증가 선형함수 (strictly linear function)  $F$ 에 대해서  

$$U^*[F(\bar{U}), F(X)] = F[U^*(\bar{U}, X)]$$
- (ii) 효율성(Efficiency): 내쉬협상의 해는 파레토최적(Pareto Optimal)이다.
- (iii) 비관련 선택사항의 독립성(independence of irrelevant alternative): 협상과정에 포함되지 않은 인자는 협상참가자의 태도에 아무런 영향도 미치지 않는다.

위의 세 가지 조건을 만족하는 경우 2인 내쉬협상문제(Nash Bargaining Problem)는 다음과 같은 최적화 문제로 모델링 될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{x,y} (x-a)^h (y-b)^k & (5) \\ & \text{s.t. } y = f(x) \\ & h + k = 1 \end{aligned}$$

이것을 참여자수  $n$ , 거래수  $t$ 의 게임으로 확장하면 다음과 같은 최적화 문제로 정식화 될 수 있다[6]. 수익배분가중치

(h,k,l,...)는 동틀로 한다. 따라서 이제까지의 기본내용을 바탕으로 내쉬협상게임의 특징을 정리하면 다음과 같고 (6)은 이러한 특징을 바탕으로 내쉬협상게임의 일반적 정식화를 나타낸 것이다.

- 1) 내쉬공리를 만족하는 협조게임의 결과는 식 (5)와 같은 내쉬협상게임의 문제로 정식화 될 수 있다.
- 2) 게임의 선택안으로는 협상을 통해 협조를 하거나 참여자들이 개별적으로 시장에서 활동하게 되는 두 가지의 경우가 존재한다.
- 3) 목적함수는 각 거래에 대한 개별 이득으로 표현되는 항의 합으로 이루어져 전체 거래들에 대한 해당 사업자들의 이득함수 다항식을 구성하게 된다.
- 4) 이 게임에서의 변수는 각 발전사업자의 발전량  $P_i$ 와 발전사업자간 거래가격 및 거래량  $p_{ij}$ 와  $T_{ij}$ 로 구성된다.
- 5) 게임의 최종결과는 파레토 최적(Pareto Optimal)이 되어야 하며, 이는 위의 식 (4)에 대응하는 조건이다.

$$Max \sum_t \prod_n R'_n \quad (6)$$

Here  $R_n = (x_n - b_n)$

$t$  : 거래(transaction)  
 $n$  : 내쉬협상게임참여자  
 $R'_n$  : 계약 t에 대한 n번째 사업자의 이득함수  
 $x_n$  : n번째 게임참여자의 할당매출량  
 $b_n$  : n번째 게임참여자의 backstop

## 2.3 전력거래에서의 내쉬협상게임

### 2.3.1 3-모선 계통에서의 4자 내쉬협상게임

중앙계획급전체제에서의 전력 계통은 전체 급전비용 최소화를 위해 각 발전기들이 등중분연료비(equal marginal cost) 방법에 의해 발전량을 할당받는다. 그러나 경쟁체제의 경우, 풀(Pool) 체제에서는 각 발전업자들의 입찰에 의해 급전패턴이 정해지면 계통운영자(SO)나 시장운영자(MO)에 의해 송전이 이루어지고, 양자거래(Bilateral) 체제에서는 발전업자간(생산업자-도매업자) 혹은 발전업자-수용가 사이에 거래에 의해 계약이 맺어지고 그 송전루트에 대한 설비를 소유하고 있는 탁송(wheeling)업자에 의해 전력이 수송된다. 본 논문에서는 풀(Pool), 양자거래(Bilateral) 체제 구분없이 송전 역할을 담당하는 송전업자를 규정하였으며, 발전업자와 마찬가지로 협상(bargaining)의 한 주체로서 내쉬협상게임에 참여하게 된다.

이 개념을 전력거래에 적용하기 위해 그림 3과 같은 2 모선 계통을 가정하였다.

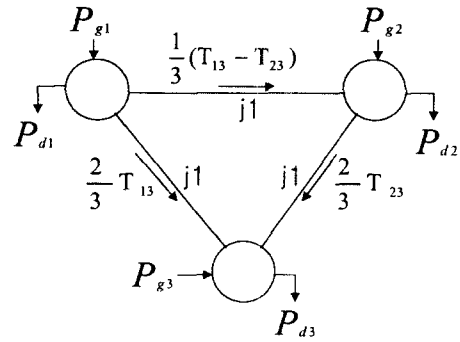


그림 3 3-모선 3-발전기 계통  
 Fig. 3 3-bus 3-generator system

그림 3은 3-모선 3-발전기 계통을 도식화한 것이다. 이 경우 세 모선에 개별 발전 사업자들(g1,g2,g3)의 발전기가 접속되어 있고, 이 발전기들이 계통의 각 모선에 물려 있는 부하(d1,d2,d3)를 공급하고 있다. 이 때 발전사업자 g1, g2는 자신의 부하를 공급하고 남은 발전량을 발전사업자 g3에게 공급하고 있다. 이 때 g3가 g1, g2의 전력을 수입하는 것은 자신의 발전용량이 d3를 공급하기에 부족해서일 수도 있고, 그렇게 하는 것이 경제적으로 더 이득이 되어서일 수도 있다. 어쨌든 g1,g3 사이에  $T_{13}$ , g2, g3 사이에  $T_{23}$ 의 거래가 발생하고 있다. 이 문제를 (6)의 원칙에 따라 최적화 문제로 형식화하면 다음과 같다.

$$L = Max (R_1 R_3 R_4 + R_2 R_3 R_4) \quad (7)$$

$$= Max (R_1 + R_2) R_3 R_4$$

### 2.3.2 송전선이용료의 적용

식 (7)에서 각 사업자의 수익  $R$ 을 정해주기 위해서는 이 계통에서 적용되는 송전선이용료를 먼저 구체화할 필요가 있다. 아울러, 전력산업의 경쟁체제진입에 있어 우선시 되는 것이 송전망 개방이라 할 수 있고, 이를 위해서는 전력시장 내의 모든 발전업자가 자유롭게 계통에 진입할 수 있어야 하며, 공정한 게임을 할 수 있는 환경이 구축되어야 한다. 이러한 환경을 구성하는 중요한 요소 가운데 하나가 바로 송전업자의 수익을 보장해 줄 수 있는 송전선이용료이다. 본 논문에서는 기본적으로 사용량에 비례하여 송전선이용료를 부가하는 MW법을 채택하여 적용하였다. 송전망에 진입한 발전기들이 각 선로에 대한 이용정도를 계산하기 위하여 조류량을 분석하여 개별 발전기가 선로에 미치는 영향 즉, 선로이용정도에 따라 이용료를 계산할 수 있다. 각 발전소의 발전전력이 어떤 부하를 어느 정도 담당하는지를 먼저 식별하여야 하는데 그 방법은 Jian Yang[7]이 제시한 CDM(Current Division Method)법을 따르기로 한다.

- i) Base case에 대한 전력조류를 계산하고, ii)한 개 발전기의 발전량을 없애고 이에 상응하는 부하량을 감소시킨 다음, iii) 다시 전력조류를 계산, iv)최종적으로 i)과 iii)

의 결과를 비교하여 개별발전기의 선로이용률 계산하여 구할 수 있다.

$$U_i^{gn} = \frac{PF_i^{gn}(u)}{PF_i^B(u)}, \quad PF_i(u) \leq TC_i \quad (8)$$

$U_i^{gn}$  : n번째 발전기의 선로 i 이용률

$PF_i^B(u)$  : Base case일 때 선로 i의 전력조류

$PF_i^{gn}(u)$  : 선로 i에서 n번째 발전기의 전력조류

$TC_i$  : 선로 i의 용량

식 (8)에서 얻어진 선로이용률에 따라 개별 발전기의 선로별 이용요금을 계산할 수 있다.

$$P_i^{gn}(u) = C_i \cdot U_i^{gn} \quad (9)$$

$P_i^{gn}(u)$  : n번째 발전기의 선로 i 이용요금

$C_i$  : 선로 i에 대한 목표회수비용

이것을 송전요금으로 반영하면 개별 상업자의 수익인  $R_1, R_2, R_3, R_4$ 에 대한 구체적인 식을 유도할 수 있다.

$$R_1 = p_T T_{13} + C_1(P_{d1}) - C_1(P_{d1} + T_{13}) - \sum_{i=1}^3 TP_i^{g1} \quad (10)$$

$$R_2 = p_T T_{23} + C_2(P_{d2}) - C_2(P_{d2} + T_{23}) - \sum_{i=1}^3 TP_i^{g2} \quad (11)$$

$$R_3 = C_3(P_{d3}) - C_3(P_{d3} - T_{13} - T_{23}) - p_T(T_{13} + T_{23}) \quad (12)$$

$$R_4 = TP_{total}(\text{송전요금}) - C_{tr}(\text{송전비용}) \quad (13)$$

### 2.3.3 내쉬협상게임해의 도출

(7)식의 목적함수가 최대치를 가지기 위해서는 각 변수  $R_1, R_2, R_3, R_4$ 에 대해서 미분한 값이 공히 0이 되는 극대값 조건을 만족시켜야 한다.

$$(1 + \frac{\partial R_2}{\partial R_1})R_3R_4 + (R_1 + R_2)\frac{\partial R_3}{\partial R_1}R_4 + (R_1 + R_2)R_3\frac{\partial R_4}{\partial R_1} = 0$$

$$(\frac{\partial R_1}{\partial R_2} + 1)R_3R_4 + (R_1 + R_2)\frac{\partial R_3}{\partial R_2}R_4 + (R_1 + R_2)R_3\frac{\partial R_4}{\partial R_2} = 0$$

$$(\frac{\partial R_1}{\partial R_3} + \frac{\partial R_2}{\partial R_3})R_3R_4 + (R_1 + R_2)R_4 + (R_1 + R_2)R_3\frac{\partial R_4}{\partial R_3} = 0$$

$$(\frac{\partial R_1}{\partial R_4} + \frac{\partial R_2}{\partial R_4})R_3R_4 + (R_1 + R_2)\frac{\partial R_3}{\partial R_4}R_4 + (R_1 + R_2)R_3 = 0$$

이 미분 방정식에 체인룰(chain rule)을 적용하여  $p_T, T_{13}, T_{23}, TP$ 에 대한 식으로 변환시켜 풀면 그림 3의 3-모선 3-발전기 전력계통에 있어서의 내쉬협상게임해가 도출된다.

### 3. 사례연구

그림 4와 같은 3-모선 3-발전기 계통을 가정하고 각 모선에 걸려있는 3 발전기들의 발전비용함수는 (14)와 같이 각각 정의하였다. 계산의 간소화를 위해 발전비용함수를 일차식으로 가정하였다.

$$C_{g1}(P_1) = 50 + 2P_1 \quad (\$)$$

$$C_{g2}(P_2) = 30 + 2P_2 \quad (\$) \quad (14)$$

$$C_{g3}(P_3) = 60 + 5P_3 \quad (\$)$$

3 모선을 연결하는 3개의 송전선로용량은 공히 150MW로 정의하고 임피던스를  $j1$ 로 설정하여 송전선로손실이 없다고 가정한다.

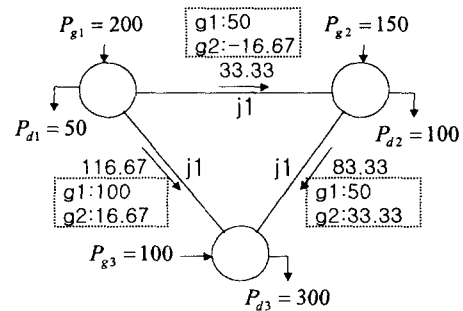


그림 4 3-모선 3-발전기 계통의 예  
Fig. 4 Example of 3-bus 3-generator system

송전설비에 투입되는 비용은  $C_{tr} = 688.15(\$)$ 로 산정되었고,  $P_{g1}, P_{g2}, P_{g3}$ 가 그림 4에서와 같이 각각 200MW, 150MW, 300MW로 정해지면, 내쉬협상해법(Nash Bargaining Solution)에 의해  $p_T = 3.125(\$/MWh)$ ,  $TP_{total} = 700(\$)$ 가 도출될 수 있다. 총 송전선이용료  $TP_{total}$ 이 정해지면, (8)식의 선로이용률에 근거하여 송전선로를 이용하고 있는 발전사업자  $g1, g2$ 에 할당되는 개별 송전선이용료가 다음과 같이 구해진다.

#### • 송전선이용료

이용료는 그림 4에서 각 발전기의 선로별 조류량에 근거하여 부가된다.

표 1 각 발전사업자의 송전선사용료  
Table 1 Transmission price of each generator

선로	용량 (MWh)	비용(\$)	g1		g2	
			이용률 (%)	이용료 (\$)	이용률 (%)	이용료 (\$)
1-2	400	200	75%	150	25	50
1-3	400	300	86%	258	14	42
2-3	400	200	60%	120	40	80

발전기 g2는 선로 1-2에서 역조류(counter-flow)를 발생시키는데 이에 대해서도 이용료를 부가하고 있다. 이는 발전기 B가 비록 역조류를 발생시키더라도 선로를 이용하고 있다는 사실에 근거하고 있기 때문에 송전선이용료 부가 차원에서 나름대로의 형평성을 유지할 수 있다. 혹자에 따라서는 이러한 역조류가 선로혼잡해소에 긍정적 영향을 주기 때문에 그러한 역조류를 발생시키는 발전사업자에게 오히려 돈을 지불하거나 기타 다른 혜택을 주어야 한다고 주장할 수 있고, 나름대로 타당성이 있는 주장이다. 하지만 역조류가 절대적으로 정해져 있는 것이 아니라 현재의 주 조류 흐름에 반하는 그 때 그 때의 조류 흐름이라고 정의된다고 볼 때 어떻게 역조류를 정의할 것인가, 계통투입 순서에 따라 결정한 것인가 등 많은 논란의 여지를 불러일으킬 수 있다. 따라서 두 관점 중 어느 것이 옳은가는 계통상황이나 시장상황에 따라 달리 해석될 수 있으며, 본 논문에서는 반드시 특정 관점이 바람직하다는 차원에서 전자를 선택한 것이 아니라 결과론적으로 그러한 관점이 적용되어 내쉬협상해법을 수행하였다고 이해되는 것이 옳다.

#### 4. 결 론

경쟁적 체제에서 입찰(Pool)과 양자거래(Bilateral)에 의해 이루어지는 전력거래는 사전에 상정사고고려 최적조류계산(SC-OPF : System Constrained Optimal Power Flow)를 통해 계통의 물리적 조건을 만족시키는지의 여부를 시험받게 된다. 또한 계통 운영에 필요한 비용을 확보하기 위해 발전업자는 그에 합당한 비용을, 송전을 담당하는 주체(계통운영자 혹은 탁송업자)에게 지불해야 한다. 이에 본 논문에서는 사전에 송전업자를 게임의 한 주체로 고려하여 발전업자들과의 협력게임(cooperative game) 상황을 설정하였다. 전력이 하나의 온전한 상품으로 성립되기 위해서는 발전된 전력이 최종소비자가 유용하게 사용할 수 있도록 적정수준의 품질을 유지하며 안전하게 송전되어야 한다는 측면에서 발전업자와 송전업자는 하나의 재화를 공동으로 생산하는 동업자로 인식될 수 있고, 이는 내쉬협상게임(Nash Bargaining Problem)으로 정식화 될 수 있다. 본 논문에서는 송전업자를 게임의 한 참여자로 간주했지만, h:k:l의 비율을 설정해야 한다는 점에서 계통운영자 관점에서 접근할 수도 있다. 구조개편에 따른 경쟁체제로의 진입에 있어 우선시 되고 있는 것이 송전망 개방이라 할 수 있는데 이를 위해서는 전력시장 내의 모든 생산자와 소비자가 송전계통에 자유로이 진입할 수 있어야 하며, 공정한 게임을 할 수 있는 환경이 구축되어야 한다. 이러한 환경을 구성하는 중요한 요소 가운데 하나가 합리적인 송전선이용료이다. 이에 내쉬협상해법을 통해 송전업자에게 지불되어야할 적정 수준의 송전선이용료를 책정할 수 있고, 경우에 따라서는 임의의 송전선이용료를 반영한 상황에서 각 발전사업자의 최적발전량을 결정할 수 있다. 협조게임의 경우 기본전제인 내쉬공리를 만족할 때 내쉬협상게임으로 모델링될 수 있으며 그러한 내쉬협상게임에서 나온 해가 해당 게임 상황에서의 최적해임이 존 내쉬라는 수학자에 의해 증명되었고, 수십년 간의 검증들 거치며 경제학, 기계공학, 생명공학 등의 다양한 분야에 적용되고 있다. 현재 설계작업이 진행중인 양방향입찰시장(TWBP) 모델에 있어서의 급전과정은 일

단 발전사업자 개개의 입장에서 일차적인 희망발전량과 가격을 제출(notional self-dispatch schedule)하고 계통 및 시장운영자인 한국전력거래소(KPX)가 계통사항과 계통전체의 경제적 최적화를 고려하여 최종적인 급전 지시를 발령하는 체제로 되어 있다. 이 때 고려되는 것으로 주파수제약조건, 송전 제약조건, 상정사고, 예비력 확보 문제, 송전혼잡비용 및 해소 문제 등 여러 가지 물리적·경제적으로 고려되어야 하는 요소들이 있을 수 있고 본 논문에서는 일단 대표적으로 송전비용을 적용하여 발전사업자의 할당 급전량을 결정하는 급전과정을 내쉬협상해법을 도입하여 모델링해보는데 그 의의를 찾을 수 있다 하겠다.

이상 본 논문은 다수의 발전업자가 존재하는 경쟁체제에서 송전업자도 게임의 한 주체로 인식함으로써, 내쉬협상게임의 관점에서 각 사업자들의 최적거래량과 거래가격, 송전선이용료를 도출할 수 있음을 보였다. 이는 각 발전업자들은 각자의 최대이익을 획득하고, 계통운영자는 바람직한 계통운영/계획이란 공익적 목표를 달성할 수 있는, 두 가지의 목적함수에 대한 동시최적화를 시도한 것이다. 이는 각자의 목적을 추구하는 둘 이상의 개별적 주체에 대한 최적화 문제라고 할 수 있는 게임이론의 범주를 벗어나지 않는다. 또한 사전협상이 필요한 전력거래의 특성상 내쉬협상게임을 적용하기에 매우 적합한 상황이라 할 수 있고, 그러한 관점에서 해를 도출하고, 개별 발전업자에게 부가되는 송전선이용료도 할당할 수 있었다.

향후 실용성을 제고하기 위해 풀(pool) 모델과 양자거래(bilateral contract)에 대한 각론적인 접근이 필요하다고 보며 후자의 경우, 다수의 송전사업자와 가격탄력성을 가지는 수용가를 전력게임에 포함시키는 방안에 대해서 연구가 필요하다고 본다. 거래가격이나 발전비용에 대한 수요탄력성을 고려한 수용가의 부하변화, 그에 따른 혼잡비용부가 등에 대해서도 연구가 진행될 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] John von Neumann and Oskar Morgenstein, "Theory of games and economic behavior", Princeton University Press, 1944
- [2] Avinash Dixit and Susan Skeath, "Games of Strategy", Norton, 1999
- [3] Drew Fudenberg and Jean Tirole, "Game Theory" Massachusetts Institute of Technology, 1991
- [4] Ken Binmore, "Fun and Games", HEATH, 1992
- [5] 전영서 著, "최신경제수학", 전영사
- [6] Xiaomin Bai, S.M. Shahidehpour, V.C.Ramesh, Erkeng Yu, "Transmission analysis by nash game method", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume : 12 Issue : 3, Aug. 1997
- [7] Jian Yang Tracing the Flow of Power in Transmission Networks for Use-of-Transmission system Charges and Congestion Management IEEE Transactions on Power Systems, 1998

- [8] Varian, "Microeconomic Analysis", Third Edition, Norton
- [9] Kunihiro Nakamoto, Yasuo Konish, Katsuya Konda and Hiroyuki Ishigaki, "Simultaneous optimization of a structure and control for mechanical system using the nash bargaining game", *Information, Decision and Control*, 1999. IDC 99. Proceedings. 1999, Page(s): 283- 288
- [10] 노웅원, "수리경제학", 진영사

## 저 자 소 개



### 강 동 주 (姜 東 周)

1975년 9월 9일생. 1999년 홍익대 공대 전자전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 위촉연구원. 관심분야: 게임이론을 적용한 전력시장거래해석 및 발전사업자의 입찰전략수립기법, 송전선이용료 산정기법, OR, SCM, ERP

Tel : 031-420-6138

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



### 김 발 호 (金 發 鎬)

1962년 7월 11일 생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 미국 University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 미국 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1997년~현재 홍익대 전자전기공학부 조교수

Tel : 02-320-1462, Fax : 02-320-1110

E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr