

Analysis on the Decision of Transmission Cost Allocation Rate Using the Arbitration Game

鄭 求 亨[†] · 姜 東 周^{*} · 韓 錫 萬^{**} · 金 發 鎬^{***}

(Chung, Koohyung · Kang, Dongjoo · Han, Seokman · Kim, Balho)

Abstract - In many parts of the world, the electric power industry is undergoing unprecedented changes. Therefore, in order to reform the electric power industry efficiently and minimize the confusion of this restructuring, the systematic studies related to transmission pricing and transmission cost allocation issues are required essentially. However, even now, the basis of transmission cost allocation rate is not equipped so that the regulation body has determined the allocating rate under the common practice. In this paper, we demonstrate that the decision of transmission cost allocation rate is the regulation body's own right. For this analysis, we apply game theory to the procedure determining this rate and the competition to determine this rate between gencos and distcos is modeled as the arbitration game.

Key Words: Competitive Electricity Market, Transmission Cost Allocation Rate, Arbitration Game

1. 서 론

전 세계적으로 전력산업은 전례없는 변화를 겪고 있다. 이러한 변화들은 전력산업에 있어서 기존의 수직통합적 구조의 해체를 초래하였으며, 궁극적으로는 발전 및 배전분야에서의 경쟁을 도입하여 전력산업의 효율성을 증대하고자 함이다. 그러나, 규모의 경제가 존재하는 송전분야는 여전히 독점형태로 운영되기 때문에, 전력산업 구조개편을 원활하고 효율적으로 추진하며 구조개편에 따른 시장충격을 최소화하기 위해서는 경쟁적 전력시장에서의 송전선이용료 및 관련 문제 그리고 비용의 배분 등에 관한 체계적인 연구가 필요하다.

그러나, 대부분의 시장은 비용배분비율에 대한 근거나 논리를 갖고 있지 않기 때문에, 시장참여자의 공동책임이라는 인식 하에 규제기관이 비용배분비율을 결정하고 있다. 우리나라의 경우, KEMA[3]는 전력전송비용과 안전도유지비용 모두 50:50의 비율로 발전사업자와 판매사업자에게 배분하는 것을 권장하고 있지만, 이는 어떠한 이론적 근거를 바탕으로 제시된 수치는 아니다.

본 논문에서는 송전비용배분비율 결정 과정에 대해 게임이론을 적용하여 이와 같은 비용배분비율에 대한 결정은 규제기관의 고유권한임을 증명하고자 한다. 이를 위해 발전사업자와 배전사업자 간 송전비용배분비율 결정경쟁을 중재게임(arbitration game)으로 모델링한다.

2. 본 론

2.1 중재게임

철도, 전력 등과 같은 공공부문에서 노동쟁의가 발생할 경우, 보통 노동조합의 파업권은 법적으로 제한된다. 대신 제3자인 중재위원회에서 분규사안에 대해 중재결정을 하고 이 결정이 최종적으로 법적 효력을 가지는 경우가 많다. 한편, 중재의 방법과 과정에는 여러 가지가 있을 수 있다. 우선 쉽게 생각해볼 수 있는 방법은 중재위원회가 분규사안에 대해 임의로 어떤 결정을 내리는 것이다. 또 다른 방법으로는 중재위원회가 두 분쟁당사자에게 분규사안에 대한 그들의 최종안을 제출하라고 요구하고 제출된 최종안 중 하나를 선택하는 방법이 있을 수 있다. 이러한 중재방법을 최종안 중재(final-offer arbitration)라 한다.

본 논문에서는 최종안 중재제도하에서의 발전사업자와 판매사업자 간 송전비용배분비율에 대한 Nash 균형전략을 살펴보고자 한다. 즉, 경쟁적 전력시장 환경을 반영하기 위해 송전비용배분비율은 각 시장참여자 간 협상을 통해 결정되며, 만약 참여자 간 합의가 이루어지지 않을 경우에는 규제기관이 각 참여자의 최종안 가운데 하나를 선택하여 그것을 각 참여자의 송전비용배분비율로 결정한다고 가정한다.

2.2 기본 가정

송전비용배분결정 과정에 중재게임을 적용하기 위해 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

- 다수의 발전사업자를 대표하는 하나의 발전사업자와 다수의 판매사업자를 대표하는 하나의 배전사업자가 중재

[†] 교신저자, 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程
E-mail : ga3310401@wow1.hongik.ac.kr

^{*} 正會員 : 韓國電氣研究院 研究員

^{**} 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程

^{***} 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2005年 3月 3日

最終完了 : 2005年 9月 2日

게임에 참여한다고 가정한다. 송전비용배분비율 결정은 발전사업자와 판매사업자 간 경쟁이므로 이러한 가정은 타당하다고 할 수 있다.

- 각 참여자는 규제기관에 자신들의 최종안을 제출한다. 이 때, 양측은 상대가 어떤 안을 제출하는지 모르는 상태에서 자신들의 최종안을 제출한다. 따라서, 이러한 중재게임은 동시선택게임이다.
- 규제기관은 공익의 입장에서 바람직하다고 판단하는 어떠한 비용배분 수준을 가지고 있으며, 양측으로부터 제출된 최종안 가운데 규제기관이 생각하고 있는 적정안과 가장 가까운 안을 선택한다.
- 발전사업자와 판매사업자는 규제기관이 바람직하다고 생각하고 있는 비용배분 수준에 대해 동일한 값을 예측하고 있다고 가정한다.

2.3 규제기관의 결정방식

발전사업자가 마지막으로 제시한 발전사업자의 송전비용배분율을 α_g 이라고 하고, 판매사업자가 제시한 발전사업자의 송전비용배분율을 α_d 라고 한다. 또한, 규제기관이 바람직하다고 판단하는 발전사업자의 비용배분 수준은 α_s 이라 한다. 단, 각 α_x 는 $0 \leq \alpha_x \leq 1$ 의 값을 가지며 각각의 경우, 판매사업자의 송전비용배분율은 $1 - \alpha_x$ 로 결정된다. 따라서, 중재게임에서는 발전사업자의 송전비용배분율을 각 참여자의 전략으로 사용한다.

각 참여자는 0과 1사이의 어떠한 값도 최종안으로 제시할 수 있으므로, 이러한 2인 게임에서 각 참여자의 전략공간은 $S_i = [0, 1]$ 이다. 또한 최종안 중재방식을 이용하는 규제기관의 결정방식은 다음과 같이 표현된다.

- 만약 $\alpha_g = \alpha_d = \alpha$ 이면 규제기관의 중재없이 α 로 결정
- 만약 $\alpha_g \neq \alpha_d$ 일 경우,
 - $| \alpha_s - \alpha_d | > | \alpha_s - \alpha_g |$ 이면 α_d 를 선택
 - $| \alpha_s - \alpha_d | < | \alpha_s - \alpha_g |$ 이면 α_g 를 선택
 - $| \alpha_s - \alpha_d | = | \alpha_s - \alpha_g |$ 이면 α_s 를 선택

2.4 발전사업자의 최적전략

경쟁적 전력시장에서 발전사업자가 송전비용을 부담하는 경우, 발전사업자는 송전비용을 자신의 에너지 입찰가격에 반영할 것이다. 그러나, 발전사업자가 송전비용을 에너지 입찰가격에 그대로 반영하는 것은 발전시장에서 자신의 경쟁력을 약화시킬 수도 있으므로 어느 정도의 송전비용은 자신이 흡수하게 된다. 따라서, 발전사업자의 입장에서는 가급적 낮은 송전비용을 부담하고자 할 것이다. 그러므로, 발전사업자는 최종안을 제시할 때 판매사업자가 제시할 것으로 예상되는 발전사업자의 비용배분율(α_d)보다 낮거나 같은 값을 제시해야 한다.

$$0 \leq \alpha_g \leq \alpha_d \quad (1)$$

이 때 발전사업자가 제시하는 비용배분율은 판매사업자가 제시한 최종안보다 규제기관의 적정 비용배분율(α_s)에 가까워야 한다.

$$| \alpha_s - \alpha_d | < | \alpha_s - \alpha_g | \quad (2)$$

이 식을 제공하여 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\alpha_s < \frac{\alpha_g + \alpha_d}{2} \quad (3)$$

즉, 발전사업자는 자신이 제시한 비용배분율과 판매사업자가 제시한 비용배분율의 평균값이 규제기관의 적정안보다 큰 값이 되도록 해야 한다.

식 (1)과 (3)에 따라, 발전사업자의 최적전략은 다음의 조건을 만족해야 하며, <그림 1>은 이러한 발전사업자의 최적 전략공간을 보여주고 있다.

$$2\alpha_s - \alpha_d < \alpha_g \leq \alpha_d \quad (4)$$

단, $2\alpha_s - \alpha_d < 0$ 이면 $0 < \alpha_g \leq \alpha_d$

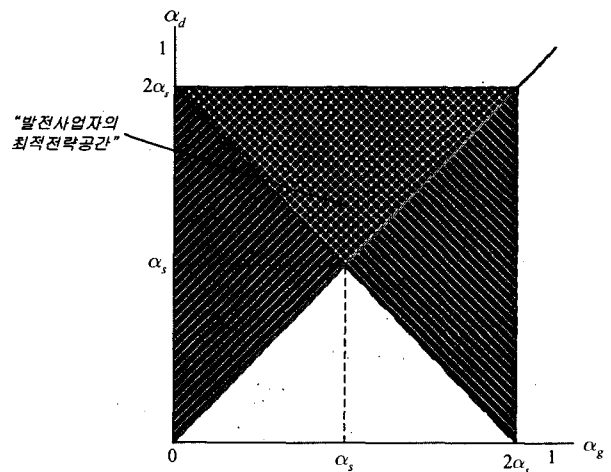


그림 1 발전사업자의 최적전략공간

Fig. 1 Genco's optimal strategic space

2.5 판매사업자의 최적전략

판매사업자에게 높은 송전비용을 부과하는 경우, 판매사업자는 이를 최종소비자에게 전가할 것이다. 그러나, 최종소비자가 지불하게 되는 전기요금은 정부의 규제사항이고 만약 정부에서 소매가격의 상승을 과도하게 규제하여 판매사업자가 송전요금을 최종소비자의 전기요금에 적절하게 반영할 수 없다면 이는 판매사업자의 이익 감소를 야기한다. 따라서, 판매사업자 또한 자신이 가급적 낮은 송전비용을 부담하고자 할 것이다. 이를 위해, 판매사업자는 발전사업자가 제시할 것으로 예상되는 발전사업자의 비용배분율(α_g)보다 높거나 같은 값을 제시해야 한다.

$$\alpha_d \geq \alpha_g \tag{5}$$

이 때 판매사업자가 제시하는 비용배분율은 발전사업자가 제시한 최종안보다 규제기관의 적정 비용배분율(α_s)에 가까워야 한다.

$$|\alpha_s - \alpha_d| < |\alpha_s - \alpha_g| \tag{6}$$

이 식을 제공하여 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\alpha_s > \frac{\alpha_d + \alpha_g}{2} \tag{7}$$

즉, 판매사업자는 자신이 제시한 비용배분율과 발전사업자가 제시한 비용배분율의 평균값이 규제기관의 적정안보다 작은 값이 되도록 해야 한다.

식 (5)와 (7)에 따라, 판매사업자의 최적전략은 다음의 조건을 만족해야 한다. <그림 2>는 판매사업자의 최적전략공간을 보여주고 있다.

$$\alpha_g \leq \alpha_d < 2\alpha_s - \alpha_g \tag{8}$$

단, $2\alpha_s - \alpha_g > 1$ 이면 $\alpha_g \leq \alpha_d < 1$

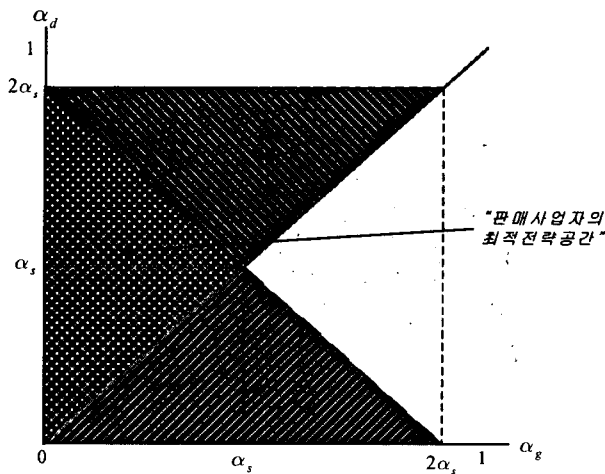


그림 2 판매사업자의 최적전략공간
Fig. 2 Distco's optimal strategic space

2.6 Nash 균형전략

식 (4)와 (8)에 기술한 각 참여자의 최적전략공간으로부터 Nash 균형전략을 얻을 수 있다. Nash 균형에는 상대 참여자의 전략이 주어졌을 때 자신의 전략을 수정하고자 하는 유인이 없어야 한다. 상대의 전략이 밝혀졌을 때 자신의 전략을 수정할 유인이 없다는 것은 Nash 균형이 발전사업자와 판매사업자의 최적전략공간의 교점 위에 존재해야 함을 의미한다. 따라서, <그림 3>을 통해 Nash 균형전략은 규제기관의 적정안(α_s)으로 결정됨을 알 수 있다. 즉, 발전사업자와 판매사업자 모두 규제기관의 적정안을 자신들의 최종안으로 제출하는 것이 Nash 균형이 된다.

결과적으로 발전사업자와 판매사업자 간 송전비용배분비율 결정은 규제기관의 고유권한임을 알 수 있다. 다시 말하면, 경쟁적 전력시장 환경을 반영하기 위해 송전비용배분비율을 각 시장참여자 간 협상을 통해 결정한다하더라도 상대의 이익과 자신이 상반되는 경우에는 결국 이에 대한 최종결정은 규제기관의 중재를 필요로 한다.

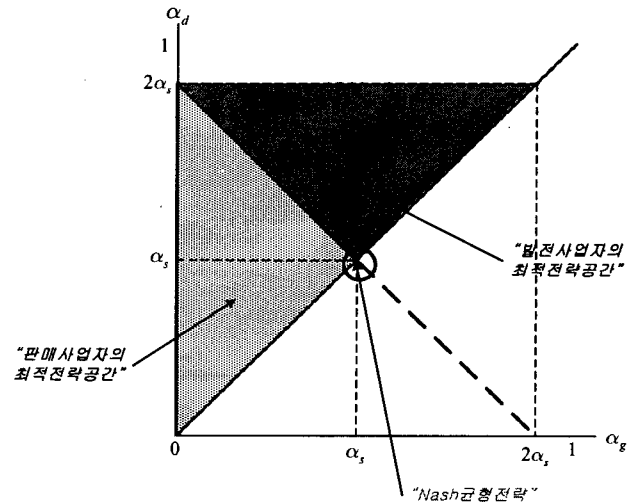


그림 3 Nash 균형전략
Fig. 3 Nash equilibrium strategy

3. 사례 연구

본 절에서는 위의 결과를 증명하기 위해 규제기관의 적정안이 발전사업자와 판매사업자 간 50:50의 비율로 송전비용을 배분하는 것이라는 가정 하에서의 중재게임에 대한 분석을 수행하고자 한다. 그러므로, 규제기관이 바람직하다고 판단하는 발전사업자의 비용배분 수준 α_s 는 0.5가 되며, 이에 대해 발전사업자와 판매사업자 모두 동일한 값을 예측한다.

발전사업자의 경우, 최종안 α_g 를 제시할 때 판매사업자가 제시할 것으로 예상하는 발전사업자의 비용배분율 α_d 보다 낮거나 같은 값을 제시함과 동시에 판매사업자가 제시한 최종안보다 규제기관의 적정 비용배분율 $\alpha_s=0.5$ 에 가까워야 한다. 그러므로, 식 (1)과 (3)에 의해, 발전사업자의 최적전략공간은 $1 - \alpha_d < \alpha_g \leq \alpha_d$ 으로 결정된다.

판매사업자의 경우, 자신이 제시하는 비용배분율 α_d 가 발전사업자의 비용배분율 α_g 보다 높거나 같으면서도 발전사업자가 제시한 최종안보다 규제기관의 적정 비용배분율 $\alpha_s=0.5$ 에 가까워야 한다. 그 결과, 식 (5)와 (7)에 따라, 판매사업자의 최적전략공간은 $\alpha_g \leq \alpha_d < 1 - \alpha_g$ 으로 결정된다.

<그림 4>는 각 참여자의 최적전략공간을 보여주고 있다. 이로부터, 각 참여자의 최적전략공간이 규제기관의 적정안인 $\alpha_g = \alpha_d = 0.5$ 에서만 교차함을 알 수 있다. 그러므로, 발전사업자와 판매사업자가 규제기관이 바람직하다고 생각하고 있는 비용배분 수준에 대해 동일한 값을 예측하는 경우, 규제기관

의 적정안을 자신의 최종안으로 제출하는 것이 Nash 균형이 되는 것을 확인할 수 있다.

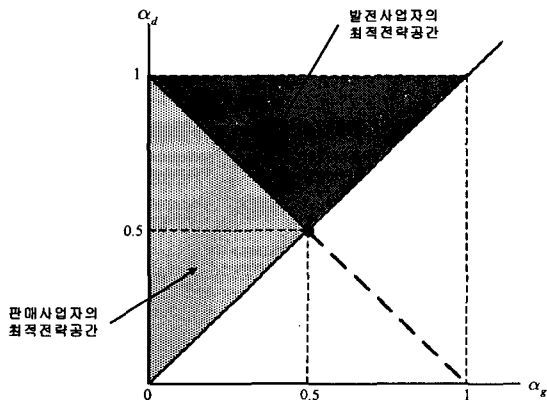


그림 4 규제기관의 적정안 $\alpha_s=0.5$ 에 대한 각 참여자의 최적 전략공간 및 Nash 균형전략

Fig. 4 Example of each participant's optimal strategic space and Nash equilibrium strategy

4. 결 론

본 논문은 중재게임(arbitration game)을 이용하여 발전사업자와 판매사업자 간 송전비용배분비율 결정에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해, 본 논문에서 적용한 중재방법은 중재위원회가 두 분쟁당사자에게 분규사안에 대한 그들의 최종안을 제출하라고 요구하고 제출된 최종안 중 하나를 선택하는 최종안 중재(final-offer arbitration) 방법을 적용하였다. 그 결과, 발전사업자와 판매사업자 간 송전비용배분비율 결정에 대한 합의가 이루어지지 않을 경우, 규제기관의 적정안에 의해 균형이 성립됨을 증명하였다. 즉, 최종안을 제출하는 각 참여자는 규제기관의 적정안을 자신의 최적전략으로 선택하는 것이 균형전략이며 결국 이러한 배분율의 결정은 규제기관의 고유권한임을 알 수 있다. 실제로, 자신이 부담하는 송전비용이 낮을수록 이익은 증가하며 또한 송전비용부담에 의한 상대의 이익감소는 곧 자신의 이익증가를 의미하므로, 송전비용배분비율은 발전사업자와 판매사업자의 합의에 의해 결정되기 어려우며 이로 인해 이는 규제기관의 중재를 필요로 하는 사항이 된다.

본 논문에서 도입한 가정이 다소 비현실적이기는 하나, 이러한 중재게임 분석을 통해 송전비용배분에 대한 기본적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 논문의 결과를 바탕으로 규제기관의 적정안을 유도하기 위한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전략산업 인프라구축지원사업(과제번호:I-2002-0-042-5-00)으로 수행된 논문입니다.

참 고 문 헌

[1] 기초전력공학공동연구소, 송전망 이용요금 비용분담 방안 에 관한 연구, 한국전력공사 전력거래실, 2002.

[2] 기초전력공학공동연구소, 송전망 이용가격 산정 및 전산 모형 개발, 한국전력공사 송변전처, 2001.
 [3] KEMA, KEPCO Restructuring Programme Technical Advisor: Transmission Pricing Methodology, 2002.
 [4] Prajit K. Dutta, Strategies and Games, MIT Press, 1999.
 [5] 한동근, 게임이론, 경문사, 1997.
 [6] 박종배, 신중린, 김발호, 임성황, 송전요금의 이론과 실제, 건국대학교 전력시장신기술연구센터, 2003.
 [7] 정구형, 강동주, 김발호, 전영환, "발전입찰경쟁에서의 가격 결정에 관한 분석", 대한전기학회 논문지, 53A권, 1호, 2004.

저 자 소 개



정 구 형 (鄭 求 亨)

1974년 9월 20일생. 2001년 홍익대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정
 Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110
 E-mail : ga3310401@wow1.hongik.ac.kr



강 동 주 (姜 東 周)

1975년 9월 9일생. 1999년 홍익대 공대 전자전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력시장기술연구그룹 연구원.
 Tel : 055-280-1319 Fax : 055-280-1390
 E-mail : dj kang@keri.re.kr



한 석 만 (韓 錫 萬)

1976년 12월 5일생. 2002년 홍익대 전자전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정
 Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110
 E-mail : hseokman@gmail.com



김 발 호 (金 發 鎬)

1962년 7월 12일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1984~1990년 한국전력공사 기술연구본부 전력경제연구실 근무. 1992년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학). 1999년~현재 홍익대학교 전자전기제어공학부 부교수
 Tel : 02-320-1462 Fax : 02-320-1110
 E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr