

## 잉여함수를 이용한 전력시장에서의 제약보상금액 정산기법

국경수 · 문영환 · 오태규

한국전기연구원

## Settlement Technique of Constrained On/Off Compensation Amount using Surplus Function in Electricity Market

Kook Kyung Soo, Moon Young-Hwan and Oh Tae Kyoo

Korea Electrotechnology Research Institute

### 요 약

경쟁적 전력시장에서는 다수의 시장 참여자들이 전력을 사고팔게 되는 만큼, 시장참여자와 전력거래소 사이의 전력거래를 효과적으로 정산하기 위한 다양한 기법들이 요구된다. 특히 제약보상금액은 전력거래 시에 시장참여자의 입찰 우선순위에도 불구하고 전력거래소가 계통의 제약조건으로 인해 실제 급전계획에서 조정된 전력거래량에 대해서 해당 거래금액을 보상해주기 위한 지불금액으로써, 우리나라의 도매경쟁 전력시장 설계에도 적용되어 있는데, 전력시장에서의 불필요한 분쟁을 방지하기 위해서는 그 계산과정에 대한 명확한 이해가 요구된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 제약보상금액을 보다 명확하고 효율적으로 정산하기 위한 계산기법을 제안한다. 이를 위해 각 급전치에 대한 시장참여자의 잉여 이익을 계산하고, 급전치의 변동에 의한 잉여 이익의 변동을 기준으로 제약보상금액을 계산하여 거래금액과 함께 정산한다.

**Abstract**— In competitive electricity market, useful technique would be required to calculate settlement amount for electric power traded between market participants and KPX since a number of market participants would appear and trade electric power. Especially calculation of constrained on/off compensation amount can be complicated, and needs to be understood clearly by market participants to avoid unnecessary disputes. This paper presents a technique to settle more easily constrained on/off compensation amount using surplus function. In this technique, a surplus is calculated by each dispatched values and then the compensation amount is calculated by the difference of each surpluses. By doing this, settlement amount can be calculated by summing the trading amount and the compensation amount.

### 1. 서 론

최근 우리나라에도 TWBP 전력시장의 도입이 진행됨에 따라 이를 위한 시장설계 및 효율적인 시장운영을 위한 다양한 검토 작업들이 이루어지고 있다. 특히 시장설계의 경우, 해외 자문회사와의 협력을 통해 경쟁적 전력시장을 이미 도입하여 운영하고 있는 해외 국가들의 사례들을 포함한 많은 시장운영 기법들이 검토되고, 우리나라에서 목표로 하는 TWBP 전력시장에 적합한 방안들을 준비하여 이에 대한 안들이 제안되고 있는데, 여기에는 TWBP 전력시장에 적용될 전력시장운영규칙 또

한 포함되어 있다<sup>1)</sup>. 전력을 전력시장운영규칙이 정하는 바에 따라 전력시장을 통해서만 거래하도록 규정하고 있는 우리나라의 경우, 전력시장운영규칙은 전력시장과 전력계통의 운영에 대한 모든 것을 다루게 되는 만큼 이에 대한 합리적인 설계와 적용은 효율적인 TWBP 전력시장의 기본 틀이라고 할 수 있다. 이 중 정산 및 자금관리 부분은 전력시장에서 일어나는 전력거래의 최종적인 단계로, 전력거래에 관한 모든 원칙들을 거래금액으로 환산해내는 것에 대한 규칙이라고 할 수 있으며 이는 그동안 수직통합 구조의 단일회사에서 내부적으로 처리되던 정산금액들이 서로 다른 참여자들 사이에서 결

재되고 지불되게 되는 만큼 다양한 시장참여자에게 대한 효율적인 적용과 이해가 요구된다고 할 수 있다.

이에 대해 본 논문에서는 전력시장운영규칙의 정산 부분 중, 전력거래소가 전력계통의 계통제약에 따른 급전치 변동으로 발생하는 시장참여자의 전력거래를 보상하기 위해 해당 시장참여자들에게 지불하도록 되어있는 제약보상금액을, 향후 TWBP 전력시장에서 더욱 효율적으로 계산하여 지불하는데 적용할 수 있는 잉여합수를 이용한 접근 방법을 제안한다. 제약보상금액은 공급-수요 원리에 의해 결정되는 시장가격 및 거래량에 대해서, 전력계통 고유의 물리적 특성과 계통운영의 안전성을 확보하기 위해 실제 급전지시량에 적용되는 계통제약으로 인한 시장참여자의 전력거래량 변동을 보상해 주기 위한 것으로서 이를 통해 계통제약으로 인한 시장참여자의 불이익을 방지하여 시장참여자들의 적극적인 전력거래입찰을 유도하기 위한 것이다. 또한 이를 위한 보상은 계통제약이 없을 경우, 즉 공급-수요 원칙에 의해 결정된 급전지시량과 계통제약이 적용된 후에 결정된 급전지시량의 차이에 대해, 시장참여자의 입찰가격과 시장청산가격을 적절히 적용하여 시장참여자의 불이익에 대한 예상치를 산정후 이를 보상하게 되는데, 이때의 보상 수준 또한 시장참여자의 게이밍 등을 방지하기 위한 수준으로 규제되는 것이 일반적이다. 현재 도매경쟁 전력시장의 설계안에서 제안된 제약보상금액의 계산방법은 발전기와 부하 각각에 대해 급전량이 증가한 경우와 감소한 경우의 제약보상금액을 별도로 계산하지만, 본 논문에서 제안된 계산기법을 적용할 경우에는 다양한 제약보상금액의 계산방법을 일반화함으로써 계산의 효율성을 높일 수 있고, 전력시장에서 시장참여자들의 이해 또한 높일 수 있을 것이다.

이를 위해 본 논문에서는 시장청산가격에 의한 에너지거래금액과, 시장참여자의 입찰자료에 따른 입찰합수로 계산되는 거래금액 간의 차이를 계산하는 잉여합수를 정의하고, 이를 통해 시장참여자가 공급-수요 원칙에 따른 급전에서 얻게 되는 잉여 이익과, 계통제약이 반영된 급전에서 얻게 되는 잉여 이익을 계산 한 후 전력시장의 제약 보상 원칙에 따라 그 차액을 제약보상금액으로 계산하여 실제 급전에 따른 에너지거래금액과 함께 시장참여자의 정산금액을 계산한다. 이를 통해 전력시장에서 제약보상금액의 계산이 요구될 수 있는 다양한 경우에 대해 일관된 계산기법이 적용될 수 있고, 시장참여자에게 대한 명확한 이해를 구할 수 있을 것이다. 또한 제안된 계산기법의 유용성을 검증하기 위해 실제 전력시장에서 일어날 수 있는 발전사업자와 구매사업자의 거래입찰에 대해 제약보상이 이루어지게 되는 경우를 가정한 후, 제안된 계산기법을 적용하여 제약보상금

액을 계산해 봄으로써 계산기법의 명확성과 정확성을 확인하였다.

## 2. 전력시장에서의 제약보상금액

### 2-1. 전력시장에서의 혼잡

전력시장에서 전기에너지의 시장가격은 시장참여자들의 입찰자료에 의한 공급-수요법칙에 따라 결정되게 된다. 즉, 전기에너지를 팔려고 하는 시장참여자의 공급입찰과, 전기에너지를 사려고 하는 시장참여자의 수요입찰이 평형을 이루는 점에서 시장가격이 결정되며 전기에너지의 공급자는 공급가격이 낮은 것부터, 그리고 전기에너지의 수요자는 구매가격이 높은 것부터 거래에 참여할 수 있게 되는 것이다. 그러나 전기에너지는 일반시장에서 거래되는 상품과는 다른 고유의 물리적인 특성을 가지고 있으며 반드시 전력계통이라는 물리적 설비를 통해 수송되어야 하기 때문에 실제로는 시장원리에 의해서만 거래될 수 없다. 즉, 전기에너지를 수송하는 전력계통의 물리적인 특성에 의해 시장원리에 의한 전력거래가 제약을 받게 되는데 이를 계통제약이라고 정의하며 여기에는 송전설비의 용량, 안전도 제약, 예비력 제약 등이 포함된다. 따라서 이러한 계통제약을 고려한 급전계획에 의해 실제의 계통운영이 이루어지며 이는 시장원리에 의한 급전계획과 달라질 수 있는데, 이러한 경우를 일반적으로 혼잡이 발생하였다고 한다(즉, 혼잡은 전력계통이 전기에너지의 판매와 구매를 원하는 시장참여자의 전력거래 수요를 만족시키지 못한 경우가 된다.)<sup>[2]</sup>. 따라서 혼잡이 발생하게 되면 전력거래를 원하는 시장참여자는 시장원리에 의한 급전계획보다 전기를 더 거래하거나(constrained on), 덜 거래해야(constrained off)

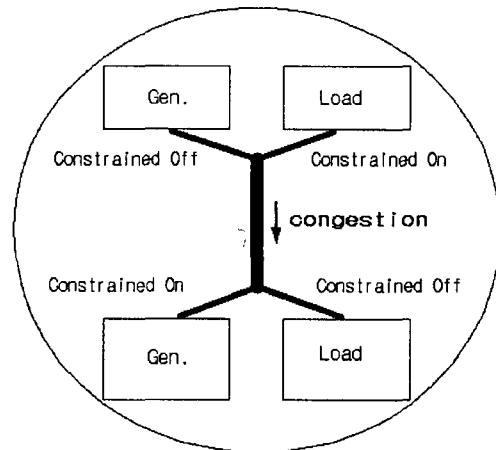


Fig. 1. Example of congestion.

만 하는 경우가 나타나게 된다. Fig. 1은 혼잡발생에 대한 간단한 예를 나타낸다.

또한, 전력시장에서 발생하는 이러한 혼잡에 대해서는 많은 처리기법들이 제안되어 적용되어오고 있는데 이를 크게 분류하면 계통계획 및 설계 측면에서 해결하는 것과, 지역별 송전비용으로 처리하는 것, 그리고 시장가격을 통한 혼잡관리 기법을 적용하는 것으로 분류할 수 있다<sup>2)5)</sup>. 즉, 이는 계통운영에서 확인된 혼잡문제를 해결하기 위해 전력망을 확충하거나 보강하고, 혼잡을 완화하기 위한 지역간 송전비용을 적절히 책정하거나, 계통제약에 의한 급전지시량의 변경을 시장에서 적절히 보상을 해주는 등의 방법이라 할 수 있다. 특히 우리나라의 경우에는 계통제약에 의해 급전지시량이 변경되는 시장참여자에게 제약보상금액을 지불하는 방법이 제안되어 있으며, 이는 결국 전력거래소가 계통제약에 의한 급전계획을 수립하여 이에 따라 급전지시를 발행하고, 계통제약에 의해 급전지시량이 변경된 시장참여자에 대해서는 이를 적절히 보상해 준 후 이로 인한 추가비용을 소비자들에게 적절히 배분하여 청구하게 되는 것이다<sup>6)</sup>.

## 2.2. 혼잡에 따른 전력거래비용의 보상

계통에 혼잡이 발생하게 되면 시장참여자는 계통제약이 없을 경우에 거래하였을 전기에너지보다 많은 양을 거래하거나, 또는 더 적은 양을 거래해야 하게 되는데 이러한 거래량의 변경에 따라 시장참여자의 이익 또한 변할 수 있을 것이다. 즉, 발전사업자의 경우, 시장청산가격(MCP)보다 낮은 가격으로 입찰한 발전기가 전기에너지를 공급하지 못하게 되거나 시장청산가격보다 높은 가격으로 입찰한 발전기가 시장청산가격으로 전기에너지를 공급해야 하는 경우이며, 구매사업자의 경우, 시장청산가격보다 높은 가격으로 입찰한 부하를 구매하지 못하게 되거나 시장청산가격보다 낮은 가격으로 입찰한 부하를 시장청산가격으로 구매해야 하는 경우가 된다.

따라서 혼잡이 발생하였을 경우에는 이로 인해 거래량이 변경된 시장참여자에게 적절한 보상을 하여 시장참여자들의 전력거래 입찰을 적극적으로 유도 할 필요가 있으며, 그 보상수준 또한 적절해야 할 것이다. 특히 이를 우리나라의 경우 이를 위해 제안된 제약보상금액과 정산금액은 다음을 기본 원칙으로 계산된다<sup>7)</sup>.

(1) 시장참여자들의 입찰자료에 의해 시장청산가격이 결정된다.

(2) 시장참여자의 에너지거래금액은 실제 급전된 거래량과 시장청산가격을 기준으로 계산된다.

(3) 시장참여자의 제약보상금액은 시장청산가격의 결정에 포함된 거래량과 실제 급전에 의한 거래량의 차이에 대해서 시장참여자에게 적절한 보상이 이루어지도록

입찰가격과 시장청산가격을 참고하여 계산된다.

(4) 시장참여자에 대한 청구금액은 에너지거래금액과 제약보상금액의 합이 된다.

또한, 이러한 제약비용을 계산하기 위해 다음과 같은 원칙이 적용된다<sup>8)</sup>.

(1) 계통제약에 의해 증가된 급전지시량에 대해서는 입찰가격을 적용한다.

(2) 계통제약에 의해 감소된 급전지시량에 대해서는 시장청산가격과 입찰가격의 차이를 적용한다.

즉, 계통제약에 의해 급전지시량이 증가된 경우에는 시장참여자가 시장청산가격보다 높은 가격으로 입찰한 전기에너지를 공급해야 하거나, 시장청산가격보다 낮은 가격으로 입찰한 전기에너지를 구매해야 하기 때문에 이에 대해서는 입찰가격을 적용한 것과 동일하도록 보상한다. 반면, 계통제약에 의해 급전지시량이 감소된 경우에는 시장참여자가 시장청산가격보다 낮은 가격으로 입찰한 전기에너지를 공급하지 못하거나, 시장청산가격보다 높은 가격으로 입찰한 전기에너지를 구매하지 못하기 때문에 이에 대해서는 시장청산가격으로 거래되는 것과 동일하도록 보상하게 되는 것이다.

이에 대해 본 논문에서는 각 전력거래당사자들의 정산금액을 계산함에 있어 상기의 원칙을 모두 반영하면서 보다 효과적이고 일관적인 제약보상금액 계산기법을 제안하여 향후 전력시장운영의 효율성을 높이고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 잉여함수를 정의하고, 이를 이용하여 계통제약 보상의 원칙에 따라 제약보상금액을 계산한 후 정산금액에 반영하도록 제안한다. 현재 TWBP 전력시장 설계에서 제안되어 있는 정산기법의 경우, 이러한 제약보상금액을 일반적인 방법으로 계산하지 못하고 발전기와 부하에 대해 급전량이 증가되는 경우와 감소되는 경우로 나누어 각각 계산하도록 되어있는 바, 본 논문에서 제안된 정산기법을 적용하면 제약보상금액의 계산방법을 일반화하여 전력시장운영규칙 등을 효과적으로 기술할 수 있을 뿐 아니라, 향후 전력시장에서 시장참여자들의 이해를 돕는 데에도 효과적인 것으로 사료된다.

## 3. 잉여함수를 이용한 제약보상금액의 계산

### 3-1. 잉여함수의 정의

향후 TWBP 전력시장에서는 발전사업자와 구매사업자가 각각 자신의 공급과 수요에 대한 입찰을 통해 전력을 판매하거나 구매하게 된다. 이때 이러한 각 시장참여자들의 입찰은 자신들의 사업 활동을 계속 영위하기 위하여 적절히 선택되는데 이는 반드시 자신들의 순수 운영비용만을 의미하지는 않을 것이며 나름대로의 입찰전략에 따라 정해지게 된다. 이러한 입찰 자료를 입

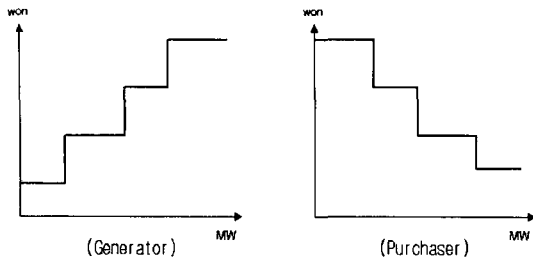


Fig. 2. Example of market participants' bidding function.

참참여에 대한 적극성 정도(공급입찰의 경우 낮은 가격부터, 수요입찰의 경우 높은 가격부터)에 따라 누적하여 분포시킬 경우, 다음 Fig. 2와 같은 공급 또는 수요입찰 곡선이 나타나는데, 본 논문에서는 편의상 이를 입찰전력  $x$ [MW]에 대한 입찰가격[원]을 나타내는 입찰함수  $B(x)$ 로 정의한다.

또한, 이러한 공급과 수요입찰에 대해 전력시장의 청산이 일어나고 이에 따른 시장청산가격이 정해지면, 이에 따라 각 시장참여자들은 제공하거나 제공받은 전력에 대한 거래대금을 지불받거나 지불하게 되는데 본 논문에서는 이를 편의상 각 시장참여자의 에너지거래금액  $R(x)$ 로 다음과 같이 정의한다.

$$R(x) = MCP \times x \quad (1)$$

단,  $MCP =$ 시장청산가격[원]  
 $x =$ 급전지시량[MW]

즉, 이러한 에너지거래금액은 시장청산가격과 급전지시량(즉, 계량치)으로 결정된다. 또한, 본 논문에서 모든 금액은 급전기간에 대한 급전지시량[MW]을 기준으로 계산되며 따라서 이를 전력량[MWh]에 대한 금액으로 환산하기 위해서는 계산된 금액에 (급전기간[분]/60)을 곱하면 된다.

이러한 에너지거래금액을 위의 Fig. 2에 겹쳐 표현하면 다음 Fig. 3과 같다. 단, 그림에서 표현된 발전사업자와 구매사업자의 예는 개념의 도식화를 위해서만 표

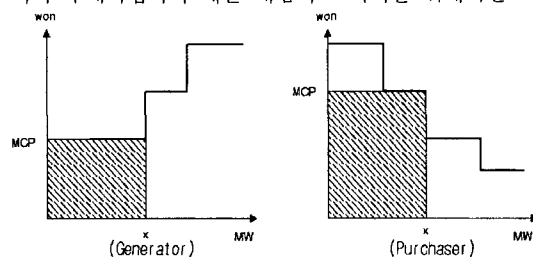


Fig. 3. Example of market participants' trading amount.

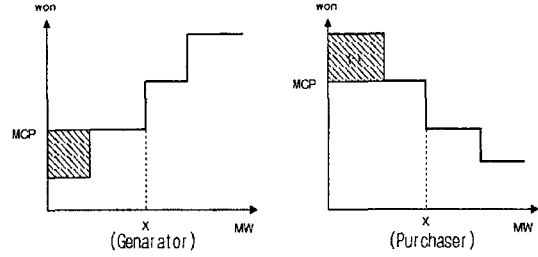


Fig. 4. Example of market participants' surplus.

현된 것으로 서로 다른 별도의 경우를 나타낸다.

위에서 정의된 입찰함수와 에너지거래금액에 대하여 다음과 같은 잉여함수  $S(x)$ 를 정의한다.

$$S(x) = R(x) - \int_0^x B(x) dx \quad (2)$$

단,  $x =$ 급전지시량[MW]  
 $R(x) =$ 에너지거래금액[원]

즉, 잉여함수  $S(x)$ 는 각 시장참여자의 급전지시량  $x$ 에 대해 시장청산가격에 의한 에너지거래금액에서 입찰함수  $B(x)$ 를 기준으로 계산된 금액을 뺀 값으로 계산되는 잉여(Surplus)를 나타내며 이를 도식화 하면 다음 Fig. 4와 같다.

### 3-2. 잉여함수를 이용한 제약보상금액의 계산

제약보상금액은 전력시장에서 전력계통 제약으로 인해 시장참여자의 전력거래량이 변경되는 경우, 이에 대한 적절한 보상을 시장참여자에게 지불하는 것으로서, 이를 통해 시장참여자들이 전력거래를 위한 입찰에 적극적으로 참여할 수 있도록 유도하되 합리적인 수준의 보상이 이루어져야 할 것이다. 또한 이러한 보상수준은 결국 전력계통제약에 의해 시장참여자가 받게 되는 잉여이익의 변경을 보상해주는 것이 합리적인 것으로 인식되고 있다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 정의된 잉여함수를 이용하여 시장청산시의 급전지시량에 따른 시장참여자의 잉여 이익과, 실제 급전지시량에 따른 시장참여자의 잉여 이익을 각각 계산하여 그 차이를 제약보상금액으로 결정한다.

$$\text{제약보상금} = S_i(a) - S_i(b) \quad (3)$$

단,  $i$ 는 시장참여자  
 $a$ 는 시장청산가격을 결정하기 위한 급전계획에 따른 시장참여자  $i$ 의 급전량  
 $b$ 는 계통제약을 고려한 급전계획 또는, 계량치에 따른 시장참여자  $i$ 의 급전지시량  
 이러한 기법을 통해 전력시장에서의 제약보상원칙을

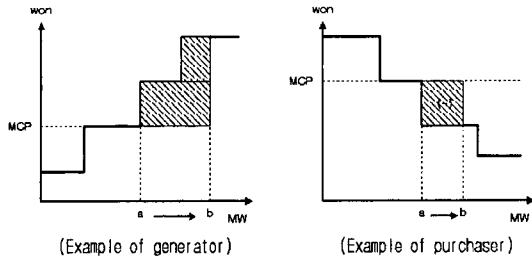


Fig. 5. Calculation of constrained-on compensation amount using surplus function.

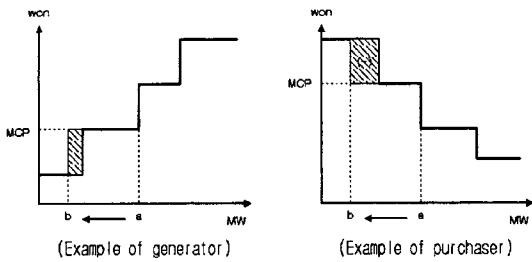


Fig. 6. Calculation of constrained-off compensation amount using surplus function.

모두 반영하면서 전력시장에서 다양하게 발생될 수 있는 경우들, 즉 발전사업자의 경우거나 구매사업자의 경우, 또는 제약조건에 의해 급전지시량이 증가되었거나 감소되는 경우, 모두에 대해 일괄적인 제약보상금액을 계산할 수 있으며 그 계산 또한 용이하다. 따라서 전력시장운영규칙 등의 규제문서에 있어서 시장참여자의 정산금액 등을 논하기에도 유용할 것으로 판단된다. 이러한 제약보상금액을 도식화 하면 다음 Figs. 5, 6과 같다.

이와 같은 식에 의해 시장참여자의 제약보상금액이 계산될 경우, 각 시장참여자에 대한 총 정산금액은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{정산금액} = \text{에너지거래금액} + \text{제약보상금} \quad (4)$$

여기서 발전사업자의 경우에는 계산된 정산금액을 전력거래소로부터 지불받고, 구매사업자의 경우에는 계산된 정산금액을 전력거래소에 지불하면 된다.

표 2. 사례연구의 CASE.

		시장청산가격	시장 청산시 급전지시량	실제 급전지시량	비고
발전사업자	CASE 1	30[원]	100[MW]	120[MW]	발전량 증가
	CASE 2	30[원]	100[MW]	60[MW]	발전량 감소
구매사업자	CASE 3	30[원]	70[MW]	90[MW]	부하량 증가
	CASE 4	30[원]	70[MW]	20[MW]	부하량 감소

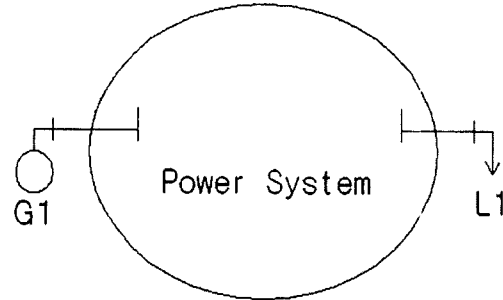


Fig. 7. Example of power system connected to gen. & purchaser.

표 1. 발전사업자 및 구매사업자의 입찰자료.

	입찰량	입찰가격
발전사업자 (G1)	30[MW]	10[원]
	40[MW]	20[원]
	30[MW]	30[원]
	40[MW]	40[원]
구매사업자 (L1)	30[MW]	40[원]
	40[MW]	30[원]
	30[MW]	20[원]
	40[MW]	10[원]

#### 4. 사례연구

본 논문에서는 Fig. 7과 같이 전력계통에 접속된 발전사업자와 구매사업자에 대해 제약보상금액의 계산이 발생되는 경우를 가정한 후, 이에 대한 정산금액을 계산하여 제안된 잉여함수에 의한 제약보상금액 정산기법의 유용성을 검증하였다.

즉, 특정한 시장청산시점에 대해 발전사업자와 구매사업자에 대한 제약보상금액을 제안된 방법으로 계산한 후, 이에 따라 계산된 청구금액이 전력시장에서의 거래금액 정산원칙에 맞게 적용되는지를 확인해 본다.

이에 대해 발전사업자 및 구매사업자의 입찰 자료를 다음 표 1과 같이 가정한다.

이러한 경우 다음 표 2와 같은 4가지 경우들을 가정하여 정산금액을 계산한다.

또한, 각 CASE는 각각의 시장청산시점에 대해서 특 정의 발전사업자나 구매사업자의 거래만을 검토하는 것으로 서로 독립적인 경우가 된다.

**4-1. 발전사업자의 급전지시량 증가에 대한 제약보상 금액(CASE1)**

발전사업자의 실제 급전지시량이 시장청산가격 결정에 포함된 급전지시량보다 증가된 경우, 발전사업자는 증가된 급전지시량을 자신의 공급입찰가격으로 지불받게 되며 이를 도식화 하여 나타내면 다음 Fig. 8과 같다. 여기서 빗금으로 표시한 부분이 제약보상금액이 된다.

이러한 경우, 발전사업자의 급전지시량이 100 MW에서 120 MW로 증가된 것에 대한 제약보상금액은 본 논문에서 정의된 잉여함수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{제약보상금액} &= S(100) - S(120) \\ &= \left\{ R(100) - \int_0^{100} B(x) dx \right\} - \left\{ R(120) - \int_0^{120} B(x) dx \right\} \\ &= 200[\text{원}] \end{aligned}$$

따라서 해당 발전사업자에 대한 총 지불금액은 다음과 같이 계산 된다

$$\begin{aligned} \text{총 정산금액} &= \text{에너지거래금액} + \text{제약보상금액} \\ &= (\text{시장청산가격} \times \text{실제 급전지시량}) + \text{제약보상금액} \\ &= 3600 + 200 = 3800[\text{원}] \end{aligned}$$

계산결과를 살펴보면 시장참여자의 정산금액은 청산시의 급전지시량을 시장청산가격으로 지불받고(30\*100=3000원) 제약에 의해 증가된 급전지시량에 대해서는 발전사업자의 입찰가격으로 지불받는(40\*20=800원) 총 금액의 합과 같음을 알 수 있다.

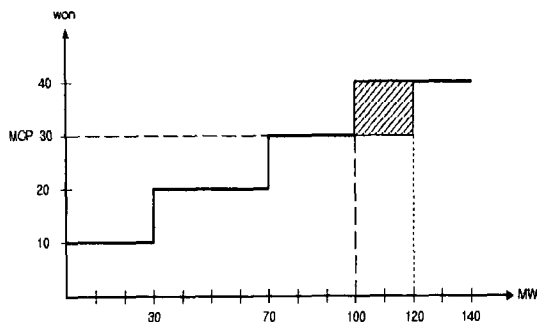


Fig. 8. Constrained-on compensation amount of generator.

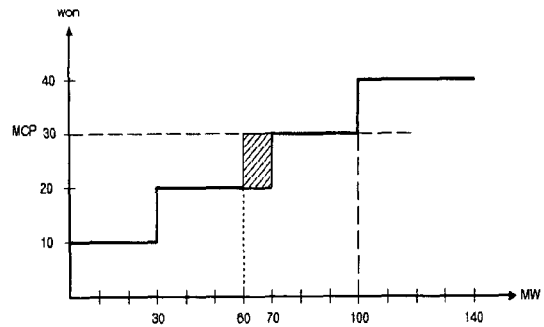


Fig. 9. Constrained-off compensation amount of generator.

**4-2. 발전사업자의 급전지시량 감소에 대한 제약보상 금액(CASE2)**

발전사업자의 실제 급전지시량이 시장청산가격 결정에 포함된 급전지시량보다 감소된 경우, 발전사업자는 감소된 급전지시량으로 인해 잃게 된 잉여 이익에 해당되는 금액을 보상받게 되는데 이를 도식화 하여 나타내면 다음 Fig. 9와 같다. 여기서 빗금으로 표시한 부분이 제약보상금액이 된다.

이러한 경우, 발전사업자의 급전지시량이 100 MW에서 60 MW로 감소된 것에 대한 제약보상금액은 본 논문에서 정의된 잉여함수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{제약보상금액} &= S(100) - S(60) \\ &= \left\{ R(100) - \int_0^{100} B(x) dx \right\} - \left\{ R(60) - \int_0^{60} B(x) dx \right\} \\ &= 100[\text{원}] \end{aligned}$$

따라서 해당 발전사업자에 대한 총 지불금액은 다음과 같이 계산 된다

$$\begin{aligned} \text{총 정산금액} &= \text{에너지거래금액} + \text{제약보상금액} \\ &= (\text{시장청산가격} \times \text{실제 급전지시량}) + \text{제약보상금액} \\ &= 1800 + 100 = 1900[\text{원}] \end{aligned}$$

계산결과를 살펴보면 시장참여자의 정산금액은 청산시의 급전지시량을 시장청산가격으로 지불받고(30\*60=1800원), 제약에 의해 감소된 급전지시량에 대해서는 청산시의 급전지시량에 대해 기대된 잉여 이익을 보상받는(10\*10=100원) 총 금액의 합과 같음을 알 수 있다.

**4-3. 전력구매자의 급전지시량 증가에 대한 제약보상 금액(CASE3)**

전력구매자의 실제 급전지시량이 시장청산가격 결정

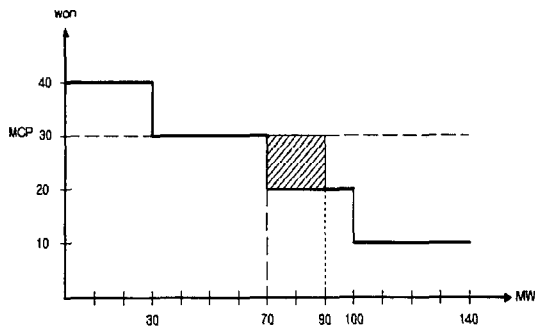


Fig. 10. Constrained-on compensation amount of purchaser.

에 포함된 급전지시량보다 증가된 경우, 전력구매자는 증가된 급전지시량을 자신의 수요입찰가격으로 지불하게 되며 이를 도식화 하여 나타내면 다음 Fig. 10과 같다. 여기서 빗금으로 표시한 부분이 제약보상금액이 된다. 이러한 경우, 전력구매자의 급전지시량이 70 MW에서 90 MW로 증가된 것에 대한 제약보상금액은 본 논문에서 정의된 잉여함수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{제약보상금액} &= S(70) - S(90) \\ &= \left\{ R(70) - \int_0^{70} B(x) dx \right\} - \left\{ R(90) - \int_0^{90} B(x) dx \right\} \\ &= -200[\text{원}] \end{aligned}$$

따라서 해당 전력구매자가 지불해야 하는 총 지불금액은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{총 정산금액} &= \text{에너지거래금액} + \text{제약보상금액} \\ &= (\text{시장청산가격} \times \text{실제 급전지시량}) + \text{제약보상금액} \\ &= 2700 + (-200) = 2500[\text{원}] \end{aligned}$$

계산결과를 살펴보면 시장참여자의 정산금액은 청산시의 급전지시량을 시장청산가격으로 지불하고(30\*70=2100원), 제약에 의해 증가된 급전지시량에 대해서는 구매사업자의 입찰가격으로 지불하는(20\*20=400원) 총 금액의 합과 같음을 알 수 있다.

**4.4. 전력구매자의 급전지시량 감소에 대한 제약보상금액(CASE4)**

전력구매자의 실제 급전지시량이 시장청산가격 결정에 포함된 급전지시량보다 감소된 경우, 전력구매자는 감소된 급전지시량으로 인해 잃게 된 잉여 이익(즉, 손해의 증가)에 해당하는 금액을 보상받게 되는데 이를 도식화 하여 나타내면 다음 Fig. 11과 같다. 여기서 빗금

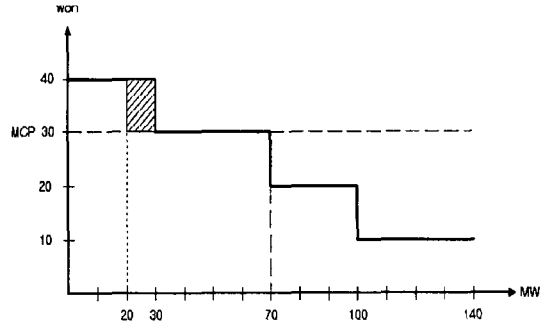


Fig. 11. Constrained-off compensation amount of purchaser.

으로 표시한 부분이 제약보상금액이 된다.

이러한 경우, 전력구매자의 급전지시량이 70 MW에서 20 MW로 감소된 것에 대한 제약보상금액은 본 논문에서 정의된 잉여함수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{제약보상금액} &= S(70) - S(20) \\ &= \left\{ R(70) - \int_0^{70} B(x) dx \right\} - \left\{ R(20) - \int_0^{20} B(x) dx \right\} \\ &= 100[\text{원}] \end{aligned}$$

따라서 해당 전력구매자가 지불해야 하는 총 지불금액은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{총 정산금액} &= \text{에너지거래금액} + \text{제약보상금액} \\ &= (\text{시장청산가격} \times \text{실제 급전지시량}) + \text{제약보상금액} \\ &= 800 + (-100) = 700[\text{원}] \end{aligned}$$

계산결과를 살펴보면 시장참여자의 정산금액은 청산시의 급전지시량을 시장청산가격으로 지불하고(30\*20=600원), 제약에 의해 감소된 급전지시량에 대해서는 청산시의 급전지시량에 대해 기대된 잉여 이익을 보상받는(10\*10=100원) 총 금액의 합과 같음을 알 수 있다.

**5. 결 론**

본 논문에서는 전력시장에서 전력거래소가 전력계통의 제약조건에 의해 전력시장에서 발생하는 시장참여자의 급전지시량 변동을 보상하기 위하여 해당 시장참여자에게 지불하도록 되어 있는 제약보상금액을 보다 일반적이고 명확하게 계산하기 위하여, 잉여함수를 이용한 제약보상금액의 계산기법을 제안하였다. 이를 위해 임의의 급전지시량에 대해서 시장청산 결과를 기준으로 계산되는 에너지거래금액과, 시장참여자의 입찰함수를 기

준으로 계산되는 거래금액의 차이로써 잉여합수를 정의 하고, 이를 통해 제약조건을 고려하지 않은 경우의 급전지시량에 대한 시장참여자의 잉여 이익과, 제약조건을 고려한 경우의 급전지시량에 대한 시장참여자의 잉여 이익간의 차이를 제약보상금액으로 계산한 후, 이를 시장 참여자의 실제 급전지시량을 기준으로 계산된 에너지거래금액과 합하여 해당 시장참여자에 대한 정산금액을 계산한다. 따라서 이러한 정산금액은 계통제약에 따른 시장참여자의 급전지시량 변동에 대한 보상금액을 반영한 금액이 된다. 또한, 본 논문에서는 사례연구를 통해 제안된 계산방법의 유용성을 검증하였다. 향후 TWBP 전력시장에서 이러한 계산기법을 적용함으로써 시장참여자에 대한 제약보상금액을 보다 명확하게 계산할 수 있으며, 이에 대한 이해 또한 도울 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제안된 기법은 전력시장에서 요구되는 전력망제약거래, 또는 주파수제약거래에 대한 보상금액을 계산하는 데에도 일관되게 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

**참고문헌**

1. “도매경쟁전력시장(TWBP) 개설을 위한 외부전문인력 활용용역(시장설계분야)”, 최종보고서, 한국전력거래소, 한국전기연구원 (2002).
2. Mohammad Shahidehpour, Hatim Yamin and Zuyi Li: “Market Operations in Electric Power Systems”, John Wiley & Sons, Inc., New York (2002).
3. “Market Rules for the Ontario Electricity Market”, IMO (2002).
4. “National Electricity Code”, NEMMCO (2001).
5. Jun Yu and Jim Galvin: “Zonal Congestion Management and Settlement”, Proceedings of the 2001 Power Engineering Society Summer Meeting, 1, 249-254 (2001).
6. 남궁재용, 문영환, 오태규, 김성수, 김용완, 김성학: “도매경쟁 전력시장에서의 정산규칙”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 170-172 (2001).

1. “도매경쟁전력시장(TWBP) 개설을 위한 외부전문인력