

우리나라 전력시장에서 경제성 DR의 NBT 및 낙찰 관계 분석

양민승^{1)*} · 이성무²⁾

¹⁾에너지환경정책기술대학원, 고려대-KIST, 서울, 02841

²⁾수요시장팀, 전력거래소, 나주, 58217

A Study on Economic Demand Response NBT and Performance

Min Seung Yang^{1)*} · Sung Moo Lee²⁾

¹⁾Graduate School of Energy and Environment, KU-KIST, Seoul 02841, Korea

²⁾DR Market Team, KPX, Naju 58217, Korea

ABSTRACT: This paper analyzes the correlation between Net Benefit Test (NBT) and System marginal price (SMP), which has a significant impact on the allocation of demand response (DR) resources in resource scheduling and commitment (RSC) process, based on the performance data of the demand resource market which has been established in 2014. Demand resources compete with generation resources in the RSC process, and it is prescribed to use demand resources only when net benefit occurs. Analysis result shows that the larger the SMP than the Net Benefit Threshold Price (NBTP), the more the winning bid of demand response resource was. It is interpreted that the introduction of NBT in DR market is justified. The demand resource market has been steadily growing. It is required to expand the scope of resources up to the small-sized DR, and to expand the functionalities of demand resources not only in the current energy market but also in the reserve market in the future. In order for that, institutional improvements are required.

Key words: Demand response market, Net benefit test, Performance of economic DR, Korean power market

1. 서론

전력시스템에서 수요자원의 필요성과 그 편익은 오래 전부터 인식되어왔다¹⁾. 수요자원의 효용은 재무적 편익뿐만 아니라, 신뢰도 제고, 혼잡완화, 시장지배력 완화 등의 이점이 있는 것으로 평가되어 왔으며^{2,3)}, 세계의 많은 나라에서 수요자원이 도매 전력시장에 참여할 수 있도록 제도화되어 있다^{4,6)}.

우리나라도 수요자원인 수요반응(demand response)이 전력시장에 참여할 수 있도록 제도적 기반을 마련하였고, '14년 11월 아시아에서 최초로 수요자원 시장이 개설되었다. 개설 당시의 자원용량은 152만 kW이었으며, 이후 지속적으로 증가하여 '17년 3월 현재 개설 당시 대비 186% 이상 대폭 증가하여 435만 kW에 이르렀다.

수요반응은 신뢰성 DR (demand response)과 경제성 DR로 구분할 수 있다⁷⁾. 특히, 경제성 DR은 현행 하루전 전력시장에 자발적으로 참여하여, 발전자원과 결합하여 더 우수한 자원이 선택되도록 함으로써 전력시장의 효율성을 개선하고 있다. 경제

성 DR은 수요자원시장 개설 1차년도('14.11~'15.11)에는 총 193,564 MWh를 감축하였고, 2차년도('15.11~'16.11)에는 총 376,557 MWh를 감축하였다. 현재 cost-based pool (CBP)시장에서 경제성 DR은 매일 전력거래소가 공표하는 Net Benefit Threshold (NBT) 가격 이상으로 입찰하도록 규정되어 있다^{8,9)}. NBT 가격은 경제성 DR에 대한 적절한 보상수준을 판단하는 기준으로 작용하는 것인데, 미국에서도 법정 소송을 포함한 치열한 논의를 거친 후에 도입이 확정되었다. NBT 가격은 경제성 수요자원의 입찰과 낙찰에 매우 큰 영향을 미친다.

2. 본론

2.1 수요자원시장과 NBT 제도 도입의 필요성

1978년 미국 정부는 국가에너지절약법(National Energy Conservation Policy Act)을 개정하여 발전소와 같은 공급자원을 대체하는 비용효과적인 수단으로서 수요자원의 가치를 인식하였듯이¹⁰⁾, 선진 여러 나라에서 1970년대 오일쇼크 여파로 수요자원에 대한 새로운 인식과 활용 필요성이 제기되었다¹¹⁾. 이러한 맥락에서 많은 나라가 수요관리(demand side management) 제도를 도입하였다. 전력산업 자유화 이전에는 DSM과 같은 주로 수직독점 체제의 전력회사에 의한 규제적 촉진제도 위주로 시

*Corresponding author: helios@kpx.or.kr

Received September 1, 2017; Revised September 20, 2017;

Accepted September 20, 2017

행되었으나, 전력시장 자유화 이후에는 수요반응이라는 자발적인 형태로 발전되었다. 전력산업 자유화 이후에는 제도화된 도매전력시장에서 수요자원이 공급자원과 동등하게 시장에 참여할 수 있도록 제도화되었다¹²⁾. 그 결과 수요반응 자원의 전력시장 참여가 가능해지기는 했지만 참여량이 예상만큼 활발하게 증가하지 않았다. 그 원인을 분석한 결과 시행주체에 따라 보상 수준이 제각각이었고, 참여량은 보상수준에 따라 부침을 보여 주었다¹³⁾. 사회적 후생을 최대화 할 수 있는 적정하고 보편적인 보상기준에 대한 논의가 제기되었고, 다양한 보상기준과 평가 방법들이 연구되었다¹⁴⁻¹⁷⁾.

특히 미국 Federal Energy Regulatory Commission (FERC) Order 745는 그중에서 가장 주목할 만하다¹⁸⁾. 이 행정명령의 핵심적 내용은 수요자원(경제성 DR)의 보상을 시장가격, 즉 full local marginal price (Full LMP)로 해야 한다고 주장하였으며, 이 행정명령은 입법과정에서 다양한 이해관계자로부터 뜨거운 논쟁을 유발하였으며¹⁹⁻²¹⁾, 결국 연방 대법원이 합헌성을 인정함으로써 효력을 확보하였다²²⁾. 가장 큰 쟁점 사항은 전력시장에 참여하는 수요자원에게 시장가격으로 보상하는 것은 수요자원에게는 이중보상이 되며, 전력시장 구매자에게는 구입단가를 상승시키는 경우도 발생한다는 것이다. 이 문제를 해결하기 위해 Net Benefit Test (NBT) 개념을 도입하였는데, 경제성 DR의 보상을 시장가격으로 하되, 시스템 편익이 비용보다 크도록 NBT (Net Benefit Threshold)를 정함으로써 이러한 문제를 해소하도록 하였다.

2.2 NBT 가격의 의의

자유화된 전력시장에서 시장의 효율성과 시장지배력의 완화를 위해서는 경제성 DR의 참여가 필수적이다²³⁾. DR 참여 촉진을 위해서는 보상 수준이 결정적 역할을 하므로, 당초 FERC의 행정명령 745는 전력시장에서 계통한계가격을 정할 때 공급자원의 한계비용으로 정하듯이 수요자원에도 동일한 원칙을 적용하여 시장가격을 정하고 그에 상응하는 보상(Full LMP)을 할 것을 제안하였다. 그러나 그렇게 하는 경우는 앞에서 약속한 바와 같이, 경제학적 후생의 최대화를 훼손하고, 더욱이 특수한 경우에는 전기소비자의 단위당가격(Billing Unit Effect)이 도리어 증가하는 간과할 수 없는 약점을 가지고 있다. 따라서 이 문제를 극복하기 위해서 NBT를 통과하도록 하였다. 즉 수요자원의 참여로 인해 전력구입자의 편익과 수요자원에게 보상하는 비용을 평가하여 편익이 큰 경우에만 수요자원이 낙찰될 수 있도록 한 계점을 정하는 것이다.

우리나라 전력수요시장은 미국의 지역계통운영기관(RTO)인 PJM의 수요자원시장을 참고하고 국내 여건을 고려하여 제도를 만들었다²⁴⁾. PJM 시장을 비롯하여 대부분의 도매전력시장에서는 경제성 DR이 국민편익이 발생하는 경우에만 낙찰되도록 NBT 가격 이상으로 입찰하도록 규정하고 있다²⁵⁾. NBT 가

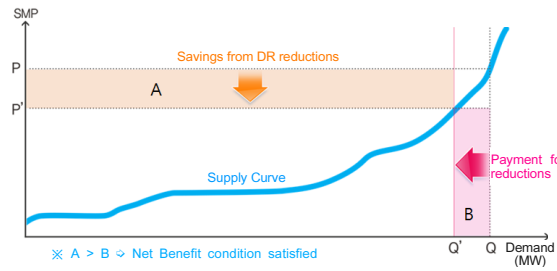


Fig. 1. The concept of NBT

격은 다음과 같은 방법에 의해 산출된다. 낙찰된 수요자원에게 시장가격(Full LMP)를 보상하기 위한 경제적, 논리적 근거는 수요자원의 사용을 통해서 수급균형을 맞출 수 있어야 하며, 낙찰 받은 시간의 LMP가 NBT 가격보다 커야 한다는 것이다.

위 Fig. 1에서 A면적은 수요자원에 의한 판매사업자의 구입비용 하락이며, B면적은 수요관리사업자가 가져가는 수익이다. A면적이 B면적보다 클 때 구입비용이 줄어 국민편익이 증가하고, 이점에서 NBT 가격이 정해진다.

PJM은 NBT 가격을 구하기 위한 공급곡선을 만들기 위해 Net Benefit Test를 수행하는데 그 절차는 다음과 같다.

- 1) 전년도 해당 월의 일별 NBT 공급곡선을 가져온다. 여기에 적용되는 발전기 가격은 실제로 발전회사들이 입찰한 가격이다.
- 2) 발전기 정비일정을 반영한다.
- 3) 전년대비 연료가격 변동을 반영한다. 발전기들의 입찰가격은 연료부분은 약 85%만 반영되기 때문에 NBT 산정 월의 발전기 입찰예정 가격은 식 (1)과 같다.

$$\text{Offer}_{\text{new}} = \text{Offer}_{\text{old}} (0.85 \times \text{연료비변동률} + 0.15) \quad (1)$$

- 4) 지수함수를 이용하여 공급곡선을 평활화한다. 여기서 사용하는 지수함수는 식 (2)와 같다.

$$\text{LMP} = A^{(B \times \text{MW} - C)} + D \quad (2)$$

여기서, A, B, C, D 값은 원공급곡선을 평활화하는 커브피팅 과정에서 구해지는 상수로 발전기의 공급곡선과 연료비의 변동량을 반영하여 매월 산정하여 공표한다. Fig. 2는 실제 사례를 보이고 있다.

2.3 SMP 및 NBT 관계 분석

'15.12월에는 낙찰량이 508 MWh, '16.2월에는 15,229 MWh로 낙찰량이 약 30배 차이가 났다. 그 이유는, 해당하는 달의 SMP가 상응하는 NBT보다 큰 시간대가 발생한 횟수의 차이이다. Fig. 3은 '15.12월 NBT 100.1 원/kWh이었으며, NBT보다 큰 SMP를 기록한 시간의 숫자가 적었음을 보여주고 있다. Fig. 4는

'16.02월 NBT가 91.55 원/kWh으로 '15.12월보다 낮았으며, NBT보다 큰 SMP를 기록한 시간이 많았음을 보여주고 있다. 아래의 Fig. 5는 '15.12월부터 '16.05월까지 SMP와 NBT의

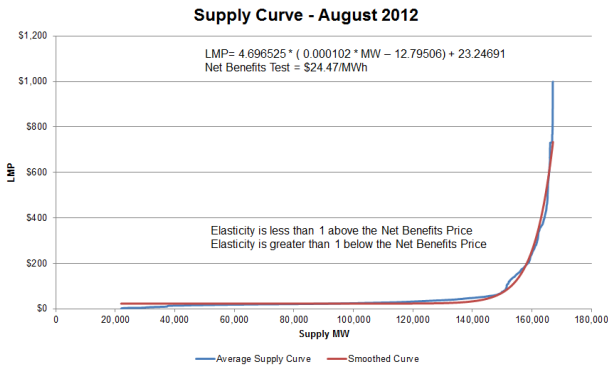


Fig. 2. A supply curve of PJM electricity market

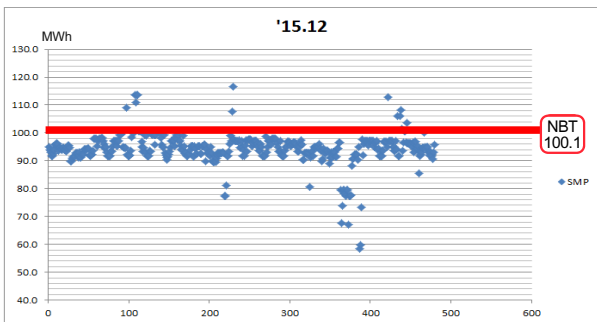


Fig. 3. SMP and NBT in Dec. of 2015

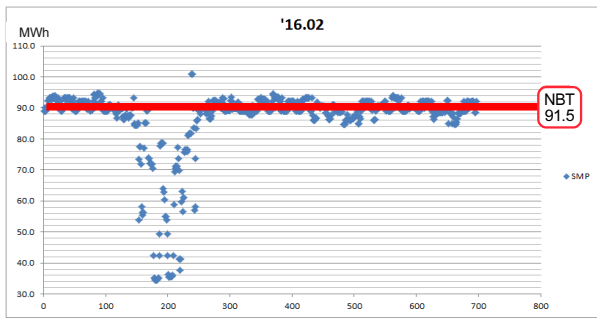


Fig. 4. SMP and NBT in Feb. of 2016

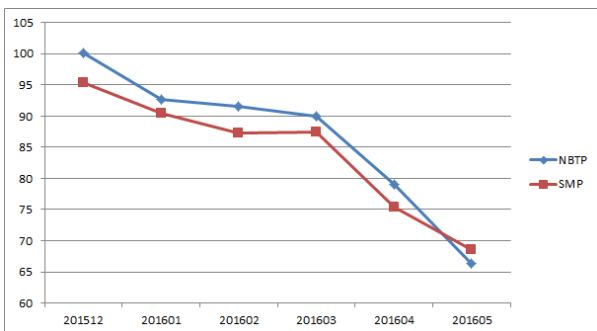


Fig. 5. SMP and NBT in Dec. 2015 and May of 2016

관계를 보여주고 있으며, 서로 동일한 추세를 보여주고 있다.

Fig. 6은 '16.2월 평균SMP와 낙찰량을 보여주고 있으며, SMP가 높으면 낙찰량이 많아지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 '16.2월 3,185 MWh로 낙찰량이 가장 많았던 '16.2.16 시간대별 SMP 및 낙찰량을 보여주고 있다. SMP가 NBT보다 낮은 시간에도 예상과 달리 낙찰되는 현상을 보여주고 있다.

시간대별 낙찰원인을 ①~③ 구간으로 나누어 분석해보면 다음과 같다.

- ① 수요가 많은 오후 시간으로 SMP가 NBT보다 높아 DR이 낙찰되었다.
- ② SMP가 NBT보다 낮아 DR이 낙찰되지 않았다.
- ③ 이 경우는 SMP가 NBT보다 낮음에도 불구하고 DR이 낙찰되었다. 그 이유는 실제로는 NBT보다 변동비가 비싼 발전기를 DR이 대체하였으나, 현행 전력시장운영규칙에서 발전기가 가동이 되었음에도 특정한 조건에 해당하면 SMP를 결정할 수 없도록 하였기 때문이다. 전력시장운영규칙상 한계가 격 결정시 제외되는 발전기는 다음과 같다.

- 1) 발전기가 발전하도록 계획됐지만, 거래시간 동안 그 발전량이 최소발전용량에 허용한도를 더한 값을 초과하지 않는 발전력 이하로 운전하는 발전기
- 2) 발전기가 자신의 최대 속도로 출력을 증가하는 발전기
- 3) 발전기가 자신의 최대 속도로 출력을 감소하는 발전기

위에서 보여주듯이 SMP결정시 제외되는 발전기로 인해

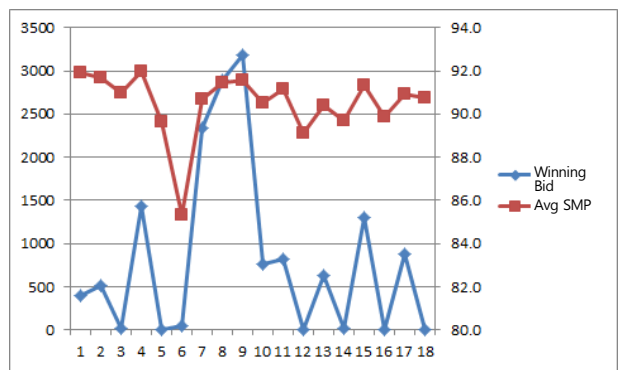


Fig. 6. '16.2 SMP and NBT

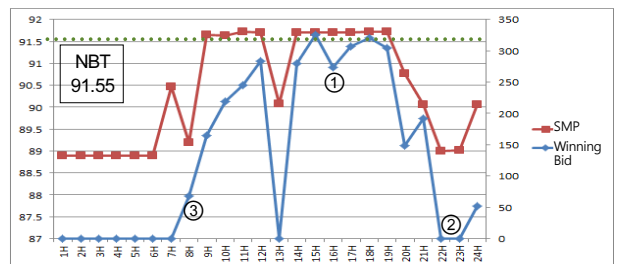


Fig. 7. SMP and winning bid on Feb. 16 of 2016

Table 1. Bidding amount and winning amount of DR of a DR aggregator on Nov. 7th and Nov. 8th of 2016 [in MWh]

| Date | Bidding | Winning |
|------------------------|---------|---------|
| '16.11.7 (Mon) | 7,388 | 4,439 |
| '16.11.8 (Tue) | 9,043 | 4,924 |
| '16.10 (Month Average) | 2,724 | 595 |

Table 2. Hourly bidding amount and winning amount of DR of a DR aggregator on Nov. 7th of 2016 [in MWh]

| Hour | SMP | Bidding | Winning | Hour | SMP | Bidding | Winning |
|-----------|--------------|------------|------------|------|-------|---------|---------|
| 1 | 71.52 | 82 | - | 13 | 75.52 | 383 | - |
| 2 | 69.72 | 81 | 81 | 14 | 76.21 | 365 | 310 |
| 3 | 69.67 | 82 | - | 15 | 76.21 | 345 | 345 |
| 4 | 69.49 | 84 | - | 16 | 76.21 | 335 | 335 |
| 5 | 69.72 | 84 | - | 17 | 76.21 | 322 | 322 |
| 6 | 70.38 | 83 | - | 18 | 76.21 | 337 | 302 |
| 7 | 72.74 | 84 | - | 19 | 76.67 | 321 | 321 |
| 8 | 73.62 | 83 | - | 20 | 76.67 | 341 | 341 |
| 9 | 75.46 | 84 | - | 21 | 75.46 | 363 | 50 |
| 10 | 75.59 | 329 | 329 | 22 | 75.40 | 380 | - |
| 11 | 75.59 | 315 | 315 | 23 | 75.40 | 364 | 230 |
| 12 | 75.52 | 335 | 335 | 24 | 75.40 | 81 | - |

SMP와 NBT가 같은 패턴으로 움직여도 낙찰 부분에서는 항상 SMP가 NBT보다 크지 않을 수도 있음을 알 수 있다.

2.4 경제성DR의 낙찰결과 분석

Table 1에서 보는 바와 같이 '16.11.7. 및 '16.11.8.은 경제성 DR의 낙찰량이 전월 대비 큰 폭으로 증가하였는데, 이는 SMP, NBT가 DR의 낙찰 관계에 미치는 관계를 선명히 보여줄 수 있는 사례로 평가되어 분석대상 날짜로 선택하였다. 하지만 다른 날짜를 선택하여도 본질적인 측면에서의 결과는 동일할 것이다.

'11.10월 대비 입찰량이 증가한 사유는 A 수요관리사업자가 가지고 있는 참여고객 중 제철회사들의 작업조정으로 입찰가능량이 늘어난 것이다. 입찰량이 많다고 하여 가격결정발전계획에서 낙찰 받는 것은 아니다. 발전기와 대등하게 경쟁하여 UC 프로그램인 RSC에서 고가 발전기를 회피해야하기 때문이다. 또한, NBT 제도를 적용함으로써, 수요관리사업자의 과다한 수익 창출을 방지하면서 국민편익을 증가시킬 수 있다. 입찰량이 많아도 위의 2가지 사유로 낙찰이 되지 않는다. '16.11.7 입찰량-낙찰량은 Table 2와 같다.

'16.11월 NBT는 75.97 원/kWh이고, Table 2에서 보는 바와 같이 14시부터 20시까지는 SMP가 NBT보다 높아 낙찰 받는 것은 당연하다. 또한, 이때 입찰용량이 한계가격을 결정할 수 있는 발전기 출력과 비슷하여, 입찰량만큼 낙찰을 받았다. 10시부터 12시는 SMP가 NBT보다 낮았지만, 한계가격 산정시 제외되는

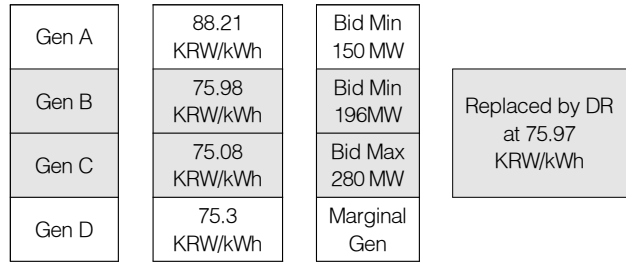


Fig. 8. Analysis of RSC of Nov. 7th of 2016

Table 3. Hourly bidding amount and winning amount of DR of a DR aggregator on Nov. 8th of 2016 [in MWh]

| Hour | SMP | Bidding | Winning | Hour | SMP | Bidding | Winning |
|-----------|--------------|------------|------------|------|-------|---------|---------|
| 1 | 73.26 | 218 | - | 13 | 75.24 | 392 | - |
| 2 | 73.02 | 217 | - | 14 | 75.97 | 375 | - |
| 3 | 71.79 | 183 | - | 15 | 76.53 | 350 | 270 |
| 4 | 71.48 | 171 | - | 16 | 76.38 | 371 | 371 |
| 5 | 73.08 | 178 | - | 17 | 76.53 | 394 | 394 |
| 6 | 73.62 | 178 | - | 18 | 76.60 | 409 | 409 |
| 7 | 73.62 | 167 | 101 | 19 | 76.70 | 399 | 399 |
| 8 | 75.28 | 151 | 63 | 20 | 76.70 | 401 | 401 |
| 9 | 75.41 | 119 | 119 | 21 | 75.41 | 405 | 76 |
| 10 | 75.41 | 369 | 369 | 22 | 75.21 | 406 | - |
| 11 | 75.36 | 363 | 363 | 23 | 75.21 | 400 | - |
| 12 | 75.35 | 384 | 384 | 24 | 75.29 | 125 | 125 |

발전기에 의해 실제로는 NBT가 한계가격을 결정할 발전기보다 낮아서 낙찰 받은 것이다. 실제로 10시부터 12시 상황을 RSC 실적으로 분석해보면 Fig. 8과 같다.

10시부터 12시까지 낙찰된 양이 315 MW~335 MW라는 것은, 한계가격 결정발전기까지 누적용량에서 수요까지 모자라는 양이 이 양이라는 것이다. Fig. 8에서 보면 이 양을 C+B발전기 또는 C+A발전기로 하면 DR의 NBT보다 비싸게 되어, 수요자가 낙찰받은 것이다. 발전기 특성 때문에 입찰 최소출력 이하로는 입찰을 못하기 때문이다.

같은 방식으로, '16.11.8의 낙찰결과를 분석해보면, '16.11.8 입찰량-낙찰량은 Table 3과 같다.

Table 3에서 보면 NBT가 75.97 원/kWh에서 15시부터 21시까지는 SMP가 NBT보다 높아 낙찰 받는 것은 당연하다. 또한, 이때 입찰용량이 한계가격을 결정할 수 있는 발전기 출력과 비슷하여, 입찰량만큼 낙찰을 받았다. 7시부터 12시는 SMP가 NBT보다 낮았지만, 한계가격 산정시 제외되는 발전기에 의해 실제로는 NBT가 한계가격을 결정할 발전기보다 싸서 낙찰 받은 것이다. 실제로, 10시부터 12시 상황을 RSC실적으로 분석해보면 다음과 같다.

10시부터 12시까지 낙찰된 양을 보면 363 MW~384 MW라는 것은, 한계가격 결정발전기까지 누적용량에서 수요까지 모자라는 양이 이 양이라는 것이다. Fig. 9에서 보면 B, C발전기는

| | | | |
|-------|------------------|--|---------------------------------------|
| Gen A | 78.06 KRW/kWh | Bid Min 196 MW Bid Max 500 MW | Replaced by DR at 75.97 KRW/kWh |
| Gen B | 75.46 KRW/kWh | Not in Operation | |
| Gen C | 75.43 KRW/kWh | Not in Operation | |
| Gen D | 75.3 KRW/kWh | Marginal Gen | |

Fig. 9. Analysis of RSC of Nov. 8th of 2016

정비 중이었고, D발전기는 수요에서 모자라는 양을 최소출력 이상에서 만족할 수 있으나, NBT보다 높아 DR이 낙찰된 것이다. 이 경우는 발전기 정비로 인해, DR이 낙찰된 경우라 할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 경제성 DR의 NBT와 SMP의 관계를 분석하여 제시하였다. 또한, 경제성 DR이 하루 전 가격결정발전계획에서 어떻게 낙찰되는지를 분석하였다. 현 CBP 전력시장에서 입찰을 통해 발전기와 경쟁하는 것은 수요자원뿐이며, 매일 입찰하여 피크를 감축하면서 도매시장가격을 낮추고 있다. 다른 대안에 비해 가장 현실적이고 비용효과적인 수단으로 작용하고 있다. 더욱이 경제성 DR이 전력시장에 참여할 때 NBT를 적용함으로써 언제나 시스템 편익이 발생하도록 하고 있다.

수요자원시장은 에너지산업의 일환으로 '14.11 시장개설 이후 가파른 성장세를 기록하였으며, 향후 국민 DR의 도입으로 국민 모두가 아낀 전기를 팔 수 있는 시장이 열릴 것으로 기대된다. 수요자원시장의 활성화를 위해서는 발전기 대비 불리한 것으로 인식되고 있는 유연성과 신뢰도를 개선할 수 있는 시장제도의 정치한 정비가 요구된다. 또한 수요자원이 예비력 시장에서도 그 특성에 부합하는 역할을 할 수 있도록 보상 기준을 합리적으로 설계하여 제도의 실효성을 제고할 필요가 있다.

References

- Joskow, P. and Schmalensee, Markets for Power: An Analysis of Electrical Utility Deregulation, the MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
- U.S. Department of Energy, "The Benefits of Demand Response In Electricity Markets And Recommendations For Achieving Them", 2006.
- The Brattle Group, "Quantifying Demand Response Benefits in PJM," PJM and the Mid-Atlantic Distributed Resources Initiative, 2007.

- The Global Smart Grid Federation(GSGF), "Demand Response Status And Initiatives Around The World", 2016.
- EU, "Demand Response status in EU Member States", 2016.
- Pedro Faria, Zita Vale, "Overview and Comparison of Demand Response Programs in North American Electricity Markets," Advanced Science and Technology Letters Vol.97 (SUComS 2015), pp.22-29, 2015.
- RTO/ISO Council, "Measurement and Verification Standards Wholesale Electric Demand Response Recommendation Summary", 2008.
- Korea Power Exchange, "Market Rule for Power Market", 2017.
- Korea Power Exchange, "Manual for Cost Evaluation", 2017.
- The United States of America, Public Law 95-619, "National Energy Conservation Policy Act", 1978.
- Kathleen Spees and Lester B. Lave, "Demand Response and Electricity Market Efficiency," Electricity Journal Vol.20, Issue 3, 2007.
- FERC, FERC Order No. 719: "Wholesale Competition in Regions with Organized Electric Markets", 2008.
- PJM, "2012 Economic Demand Response Performance Report: Analysis of Economic DR participation in the PJM wholesale energy market after the implementation of Order 745", 2013.
- The Brattle Group, "Economic Evaluation of Alternative Demand Response Compensation Options", 2010.
- Adela Conchado, Pedro Linares, "The Economic Impact of Demand-Response Programs on Power Systems", 2010.
- U.S. Department of Energy, "A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response", 2013.
- Zhaofeng Wang, "Compensation Methods for Demand Response", 2015.
- FERC, FERC Order No. 745: "Demand Response Compensation in Organized Wholesale Energy Market", 2011.
- Hogan, W. W. "Demand Resource Compensation Net Benefits and Cost Allocation", 2010.
- Pierce Jr., R. J. "A Primer on Demand Response and a Critique of FERC Order 745," 42 Envtl. L. Rep. News & Analysis 11025, 2011.
- Eisen, J. B. "FERC v. EPSA and the Path to a Cleaner Electricity Sector," Harvard Environmental Law Review 2 Forum Vol. 40, 2016.
- Supreme Court Of The United States, "US Supreme Court's Decision on EPSA vs FERC Order No. 745", 2016.
- Walawalkar, R., Blumsack, S., Apt, J., and Fernands, S. "Analyzing PJM's Economic Demand Response Program", 2008.
- Korea Power Exchange, "A Study on Integration of Demand Response in Korean CBP Market", 2014.
- PJM, "PJM Economic Demand Resource in Energy Market", 2014.