

제주실증단지 전력시장에서의 수요자원 운영체계 수립

박만근*, **조성빈***, 김용준*, 문경섭*, 김광호*, 허준형*, 김덕규*, 정해성**, 정구형***,
전력거래소*, 장인의공간**, 전기연구원***,

The Establishment of Demand Resource Operating System in Jeju Smart Grid Test-bed

Guen-Man Park*, Seong-Bin Cho*, Yong-joon Kim*, Kyeong-Seob Moon*, Kwang-Ho Kim*, Joon-Hyeong Heo*,
Duck-Kyu Kim*, Hae-Seong Jeong**, Koo-Hyung Chung***,
KKorea Power Exchange*, Master's Space**, Korea Electrotechnology Research Institute***,

Abstract - 에디슨이 전기를 발명한 후 지난 100년간 전력산업은 증가하는 전력수요에 대응하기 위해 공급측면에서 발전소 및 송배전 설비 건설을 통해 전력공급 문제를 해결하여 왔다. 이 과정에서 화석연료 사용으로 인한 지구환경오염, 화석연료 고갈에 따른 에너지 가격 급등 등으로 신규 대체자원의 개발과 수요측면에서 대응방안 마련이 절실한 상황에 이르렀다. 이러한 문제를 해결하고자 하는 전력산업의 패러다임이 스마트그리드이며, 본 논문에서는 스마트그리드 핵심자원인 수요자원에 대해 스마트그리드 제주실증단지 전력시장에서의 수요자원 운영방안에 대한 체계를 제시하고자 한다.

1. 서 론

스마트그리드 선도국으로서 세계 최대·최첨단 Smart Grid 실증단지 구축과 비즈니스 모델의 조기 개발 및 상용화를 위한 전력시장 및 계통 운영 서비스 및 제반인프라 조성을 목적으로 제주 Smart Grid 실증단지가 구축되고 본격적으로 실증단지 전력시장 운영되고 있다. 스마트그리드 실증단지 전력시장에는 3개 분야(지능형 소비자, 지능형 전차 충전, 지능형 신재생) 10개 컨소시엄이 수요자원이 시장에 참여하고 운영할 수 있는 체계를 설계하고 실증사업이 운영중이다. 본문에서는 제주 실증단지 전력시장에 구현되어 있는 스마트그리드 수요자원의 운영체계에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시장설계원칙

제주실증단지 전력시장은 시장참여자가 수요측 자원의 입찰을 통해 전력시장 가격결정에 참여함으로써 소비자의 합리적인 전력소비를 유도하고, 수요변동이 가격에 다시 영향을 주는 순환적 프로세스를 구현하고자 하였다. 또한 수요측 가상발전기(Virtual Power Plant, VPP) 개념을 도입하여 수요측 자원을 통신 네트워크를 통해 Aggregation하여 하나의 자원처럼 참여하게 하는 개념을 도입하였다. 더불어 스마트그리드 실증사업에서 개발된 기술이나 비즈니스를 해외시장에 수출할 수 있도록 해외 선진시장과 유사한 형태의 전력시장을 설계하였다. 제주실증단지인 경우 30분 단위의 1일전 시장(Financial-Binding Market)과 5분 단위의 실시간 시장(Balancing Market)으로 구성하여 이중정산체계를 적용하였다.

2.2. 시장설계

실증사업의 전국단위 확대를 대비하여 실증단지 수요측 입찰을 전국 단위 수급상황과 연계를 통해 시장가격 결정을 수행하고 Smart Grid 확대에 대비하여 종합적인 영향을 분석할 수 행할 수 있는 시장을 설계 Scheme에 반영하였다. 입찰은 수요 및 공급측 양방향 입찰을 할 수 있도록 설계하였다. 수요측 입찰은 3개 분야로 분류하여 일반수요 입찰, 수요감축 입찰, 수요측 발전 입찰로 구분하였으며, 수요감축 입찰과 수요측 발전 입찰은 급전가능 유무에 따라 다시 분류하여 총 5개 영역의 입찰이 가능하도록 하였다.

<표 1> 실증단지 수요측 자원

항목	입찰
일반수요	가격에 따른 전력량 구입 입찰
급전가능 수요감축	급전지시가 가능한 수요감축량 입찰
급전불가능 수요감축	급전지시 없이 수요감축 나찰량 이행
급전가능 수요측 발전	급전지시에 응동가능한 발전입찰
급전불가능 수요감축	급전지시없이 Self-Schedule 발전입찰

2.3 컨소시엄 수요 자원별 입찰분류

컨소시엄의 자체 EMS를 통한 자원제어, 수요측 가상발전기 구성방식 및 자원별 기술적 특성에 따라 입찰의 형태를 분류하였다.

항목	SP	ST	SR
일반수요(ND)	소비자전력수요	충전수요	배터리 충전수요
DR (수요감축)	NDDR	일반수요 감축	
	DDR	배터리 충전수요감축 스마트가전·빌딩 등	배터리 충전수요감축
DSG (수요측발전)	NDG	소형신재생 단독발전	신재생 단독 발전
	DG	소형신재생 + 배터리 Micro-Grid 등	V2G 신재생 + 배터리

<그림 1> 컨소시엄 입찰자원분류 예시

2.4 수요자원별 입찰방법

일반수요 입찰은 1일전시장에서 구매량에 따라 구매가격을 10단계까지 입찰하게 되며 구매량 증가에 따라 가격을 단조 감소하도록 입찰하게 된다. 일반수요는 급전불가능 자원으로 실시간 시장에서의 변경입찰은 불가능하다.

급전불가능 수요감축 입찰은 감축량 수준에 따라 단조 증가하는 가격입찰이 10단계까지 가능하며, 입찰시 고객기준부하(Customer Baseline Load, CBL)를 입찰서에 명기하여야 한다. 보조서비스 입찰은 1일전시장에서 대기예비력 입찰이 가능하다. 실시간 시장에서의 변경입찰은 불가능하다.

급전가능 수요감축 입찰은 급전지시에 응동가능 하도록 기술적특성자료를 제출하고 감축량 수준에 따라 단조증가하도록 가격입찰이 가능하며, 보조 서비스는 1일전시장에서 대기예비력 입찰, 실시간 시장에서 주파수조정서비스 입찰이 가능하도록 설계하였다. 또한 급전가능 수요감축 입찰 시 급전가능 기준값을 제출하여야 한다. 실시간 시장에서의 변경입찰이 가능하다.

급전불가능 입찰은 단일 구간에 대해 신재생예측시스템을 활용하여 예측 발전량을 입찰하도록 구성하였다. 입찰을 발전량 수준에 따라 단조증가하는 형태로 입찰하여야 하며, 실시간 시장에서의 변경입찰은 불가능하다.

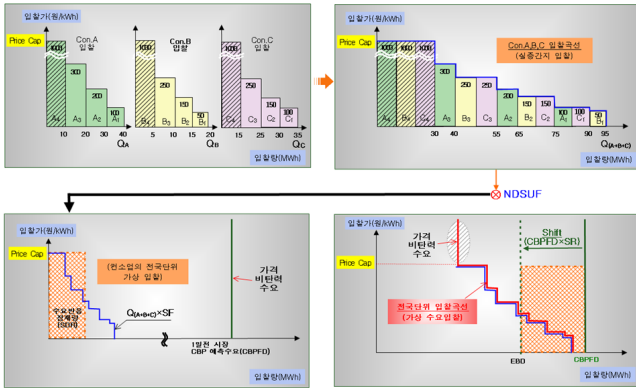
급전가능 입찰인 경우 급전지시에 응동가능 하도록 기술적특성 자료를 제출하고 발전량 수준에 따라 단조증가하는 형태로 입찰을 수행하여야 한다. 실시간시장에서의 변경입찰이 가능하다.

구분	ND	NDDR	DDR	NDG	DG
1일전 시장 입찰	○	○	○	○	○
실시간 변경입찰	×	×	○	×	○
입찰구간	최대 10	최대 10	최대 10	단일구간	최대 10
용량정산	×	×	○	×	○
AS	AGC	×	○	×	○
	예비력	×	○	×	○
참여요건	Metering	CBL	Metering & Monitoring	Metering	Metering & Monitoring
자원유형	Aggregation 가능한 일반수요	Aggregation 가능한 일반수요감축	배터리 충전수요	신재생 자원	신재생자원 + 배터리

<그림 2> 수요측 입찰 예시

2.5 수요측 자원의 전국단위 환산

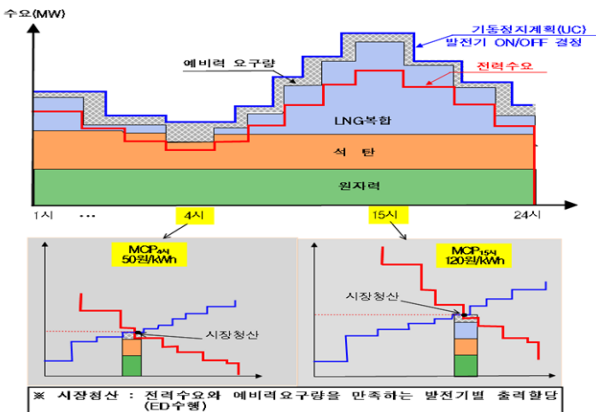
실증단지 전력시장에 입찰한 컨소시엄의 수요측 입찰자료를 전국단위로 환산하여 가격결정에 반영하기 위해 입찰 자원별(일반수요, 수요감축, 수요측발전)로 변환계수를 적용하였다. 일반수요인 경우 CBP시장에서의 수요예측값 대비 $\pm 7.5\%$ 수준이 가격이 반응하는 수요로 예측한 후 실증단지 일반수요의 가격입찰에 따라 수요값이 동적으로 변화되도록 설계하였다. 수요감축 자원 및 수요측발전 자원인 경우 제 5차 전력수급 계획에 의거하여 수요관리량 및 신재생 설비용량 수준이 되도록 환산 계수를 적용하였다.



〈그림 3〉 일반수요 입찰의 전국단위 변환 체계

2.6 시장가격의 결정

1일전 시장에서는 공급측 CBP 발전기는 입찰된 공급가능용량과 비용 계수를 활용하여 가격변환 Table를 구성하여 적용하였으며, Unit Commitment시는 평균비용으로 결정하고 가격결정 및 Economic Dispatch는 증분비용을 가격변환하여 적용하였다. 예비력은 대기예비를 반영하여 에너지와 예비력 동시최적화를 수행하였다. 수요측은 CBP 시장에서의 수요예측치와 실증단지에서 전국단위로 환산하여 입찰된 일반 수요, 수요감축, 수요측 발전 입찰을 반영하여 수요공급 곡선이 만나는 점에서 가격이 결정되도록 최적화 엔진을 설계하였다. 실시간 시장에서의 시장가격 결정은 5분단위 수요예측값과 CBP 발전기 및 실증단지 급전 가능 수요측자원의 변경입찰을 반영하여 결정되도록 설계하였으며 주파수조정예비력이 반영되도록 하였으며, 예비력 수준에 따라 주파수 조정서비스 가격이 실시간시장가격에 연동하여 결정되도록 하였다. 특히, 전체 공급가능용량이 필요수요 대비 400MW이하가 되는 경우에는 Scarcity Pricing 개념을 도입하였다.

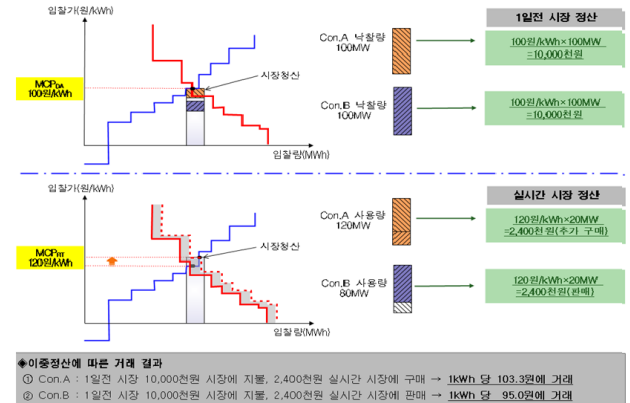


〈그림 4〉 1일전 시장가격 결정

2.7 수요측 자원의 정산

제주실증단지에서의 정산종류는 에너지, 수요감축, 용량, 대기예비력, 주파수조정서비스예비력 정산으로 구성되어 있다. 특히 1일전 및 실시간 시장거래에 대해 재무적으로 Binding되는 이중정산 체계를 도입하였다. 이중정산은 1일전 시장에서 낙찰된 양에 대해 재무적인 프로세스가 이루어지고, 실시간시장에서 거래 과소분에 대해 재무적 Balancing 처리가 이루어진다. 수요감축 또한 발전기와 마찬가지로 Nega Watt 발전을 한 것으로 일반 발전기와 동일하게 시장가격으로 정산된다. 1일전 시장에서 에너지와 대기예비력 동시 최적화를 통해 대기예비력 가격이 결정되어 낙찰된 대기예비력량에 대한 정산이 이루어지며, 실시간 급전계획을

통해 주파수조정서비스가 이루어지고 서비스량에 대한 정산이 이루어진다. 〈그림 5〉는 제주실증단지에서의 이중정산체계를 도시적으로 보여주고 있다.



〈그림 5〉 이중정산 체계

〈표 2〉는 수요측 자원 입찰종류에 따른 1일전 시장 가격결정 참여유무, 실시간 시장가격 결정 참여 유무, 변경입찰 가능유무, 입찰종류별 자원 유형을 요약한 것이다. 또한 급전가능한 자원이 경우 실시간 시장에서 변경입찰을 통해 실시간 시장가격 결정에 참여할 수 있음을 알 수 있다. 입찰종류별로 에너지, CP, 보조서비스 시장에 참여가능 유무 및 정산을 수행하기 위한 필요요소들을 요약하여 보여주고 있다.

〈표 2〉수요측 자원별 입찰 및 정산요소 요약

구분	일반수요	수요감축(DR)		수요측발전(DSG)	
		Non-dispatchable	Dispatchable	Non-dispatchable	Dispatchable
가격결정	1일전	○	○	○(예측량)	○
	실시간	X	○(전일시장 입찰량)	○(5분전 발전량)	○
변경입찰	X	X	○	X	○
감축량/발전량 측정	metering	CBL	monitoring & metering	metering	monitoring & metering
자원유형	전력소비	빌딩 등 aggregation 가능한 감축가능 일반수요	Battery 충전수요	태양광, 풍력 단독	Battery 발전, 풍력/태양광 + Battery 조합 발전
시장참여	에너지	○	○	○	○
	CP	X	X	○	X
	AS	주파수	X	○	X
	예비력	X	○	X	○
에너지정산	기준	1일전 시장 낙찰량 대비 Metering(역의 개편)			
	추가 소비/감축/발전	+RTMCP×추가 소비량	-	-RTMCP×추가 감축량	-
AS정산	과소 소비/감축/발전	-RTMCP×과소 소비량	+RTMCP×과소 감축량	+RTMCP×과소 감축량	+RTMCP×과소 발전량
	기준	실시간시장 시장 낙찰량(급전 Target) 대비 RT Metering(Power 개편)			
	증가감축/증발 감소감축/감발	제어신호 없음	RT_Target 대비 RT_Metering	제어신호 없음	RT_Target 대비 RT_Metering

3. 결론

이상으로 제주실증단지 전력시장에서의 수요자원 종류를 정의하고 입찰, 가격결정, 정산 등의 운영체계에 대해 설명하였다. 제주실증단지 전력시장의 운영을 통해 실증된 수요측자원의 운영체계는 향후 전개되는 국내 전력산업의 패러다임 변경에 기초자료를 제공하게 될 것이며, 특히 해외수출을 목표로 하고 있는 컨소시엄들에게 해외선전력시장을 경험하고, 이를 통해 기술실증과 비즈니스 모델 실증을 통해 국내 유수의 기업들이 해외수출을 진작하고 더 나아가 국가 녹색성장의 발판을 마련하는데 큰 기여를 할 것으로 보여진다.

[참고 문헌]

- [1] 전력거래소, 한국전력공사, “제주 스마트그리드 실증단지 Smart Electricity Service 구축” 2009
- [2] Demand Disatch, IEEE Power & Energy Magazine, 2010
- [3] PJM Demand Side Response, PJM, 2009
- [4] National Action Plan on Demand Response, FERC, 2010
- [5] Demand Response & Advanced Metering, FERC, 2008
- [6] Distributed Energy Resources and Management of Future Distribution, EPRI, 2009
- [7] Demand Response Measurement & Verification, AEIC, 2009
- [8] Virtual Power Plant, Pikeresearch, 2010
- [9] 수요반응 프로그램 평가를 위한 CBL 추정방법, 고려대, 2009