

Demand Response Program의 동향 분석

°김형중* 손학식* 김인수* 임상국* 박종배** 신중린**
 *에너지관리공단 **건국대학교

Survey for the Trend of Demand Response Program

°Hyeon-Jung Kim* Hag-Sig Son* In-Soo Kim* Sang-Kug Im* Jong-Bae Park** Joong-Pin Shin**
 *The Korea Energy Management Corporation **Konkuk University

Abstract - Demand Response Programs (DRP) are critical to the operation of efficient and competitive energy markets, and provide critical market improvements to Independent System Operators (ISO). To all energy market participants, they provide savings and cost reductions when end users have the ability to respond to wholesale prices. Now, in the competitive electricity market, DRP is classified by Emergency and Economic DRP to reduce costs and maintain reliability. In this paper, we survey the trend of Demand Response Program over the world and compare the practical performance among the markets in US.

1. 서 론

최근 해외의 경우 전력회사의 분할 및 다양한 시장참여자들이 등장하는 경쟁적 전력시장에서는 수요관리 및 부하관리의 정의뿐만 아니라 수행주체도 다양하게 변화하고 있다. 또한 다양한 형태와 이름으로 사용되어왔던 수요자원을 수요응답 자원(DRR : Demand Response Resource)이라는 용어로 통칭하여 사용하게 되었다.

수요응답(DR)은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 우선, 설비의 직접부하제어(Direct Load Control)와 부하삭감(Load Reduction)과 부하차단(Load Interruption)을 포함하는 부하응답(Load Response)이 있다. 부하응답을 요구하는 사업자로는 독립계통운영자 (ISOs), 부하보조사업자 (LSEs), 배전사업자(UDCs)가 있다.

반면에, 가격응답(Price Response)은 실시간 요금제(real-time pricing), 변동요금제(dynamic pricing), 시간대별 사용량 요금(time-of-use rates), 수요입찰(demand bidding) 프로그램 등이 있다. 이러한 내용은 Peak Load Management Alliance(PLMA)에서 보고하고 있다[1].

이 프로그램은 일정한 기간동안 참여자들에게 자발적 에너지 감소를 요구하는데, 이 프로그램에 참여하는 참여자들은 오직 일제 그들이 사용한 에너지 감소량에 대해서만 보상을 받을 수 있다. 이러한 수요응답은 도매 및 소매 전력시장의 지속적인 개발에 있어서 매우 중요하며, 전력시장은 가격신호에 반응하여 수요와 공급의 상호작용에 기반한다. 가격에 대응하여 수요를 변화하는 소비자들의 능력을 저하하는 것은 전체 전력시장의 효율성을 저하하고, 특히 이것은 도매 시장 가격의 변동위험성을 가져다준다는 점에서 매우 중요하다.

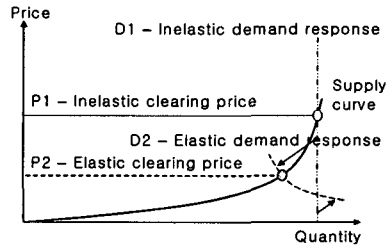
이에 본 논문에서는 미국에서 추진되고 있는 부하응답 프로그램(Demand Response Program)의 동향을 제시하며, 적용사례를 통해 프로그램의 유용성에 대해 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수요응답 프로그램의 개요 및 효과

자유경쟁이 도입되는 전력시장의 중요한 특징 중 하나는 시장가격이 시장참여자에 의해서 결정된다는 것이다. 보통 가격은 기대되는 전력수요의 예측, 즉 수요가 비탄력적이라는 가정하에 입찰한 공급측의 가격/용량 입찰 조합에 의해 결정된다. 그러나 이상적인 경쟁시장에서는 공급비용과 수요자의 지불의사에 의해 가격이 결정된다. 설비용량이 충분할 경우, 공급과잉으로 인하여 수요자의 지불의사보다 가격이 낮아질 수 있으며 상대적으로 수요 응답이 거의 없을 것으로 기대할 수 있다. 반대로 설비용량이 부족할 경우, 이전까지의 전력수요량을 기대하던 최종수요자들은 가격이 지불의사보다 높아지는 상황에 처하게 될 수 있으며 공급부족이 심할수록 가격은 더욱 급등하게 될 것이다.

다음 <그림 1>에서는 이러한 경우를 나타내고 있으며, 실시간 도매시장에서 수요응답의 효과는 이러한 가격 급등의 문제를 해결할 수 있는 실마리를 제공해준다. 즉, 수요가 비탄력적(D1)일 경우에 증가하는 수요가 설비용량에 접근함에 따라 급격한 가격 상승(P1)을 유발할 수 있다. 그러나 수요응답(D2)을 통하여 탄력성이 생기게 될 경우 가격 안정(P2)에 상당한 영향을 줄 수 있다.

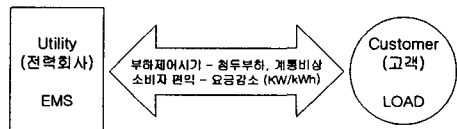


<그림 1> 수요탄력성의 시장가격에 미치는 영향

2.2 수요응답 프로그램의 해외 동향

현재 미국을 중심으로, 거의 대부분의 선진국에서는 전력시장이 개설되어 운영되고 있다. 이러한 전력시장의 설립에 따라 기존의 부하관리, 특히 직접부하제어, 프로그램은 매우 상이한 형태로 변화되고 있는 실정이고, 전력시장에서 매우 적극적으로 활용되고 있다.

기존의 부하관리의 경우, 직접부하제어 및 부하차단 프로그램의 메커니즘은 <그림 2>와 같이 매우 단순한 형태를 가지고 있었다.



<그림 2> 기존 부하관리 프로그램의 메커니즘

즉, 기존의 부하관리 프로그램에서 직접부하제어를 수

행하는 주체는 전력회사였으며, 전력회사는 침두부하 발생이나 전력계통이 비상 상태일 경우 사전에 약정된 각 수용가의 부하를 직접차단(일부 수용가가 차단)하는 형태를 취했다. 이러한 직접부하제어 프로그램에 참여하는 수용가에게 주어지는 편익은 전력요금의 감액이었다.

그러나, 전력시장이 도입된 현재의 경우, 대부분의 미국의 전력시장에서는 부하제어가 가능한 자원을 적극적으로 활용할 수 있게 되었다. 이러한 차단가능부하는 전력시장에 연동되어 있으며 통상 부하응답 프로그램으로 명명하였다. 이러한 현재의 부하응답 프로그램들은 과거의 직접부하제어 및 부하차단 프로그램들과는 달리, 양방향 통신을 기본으로 하고 있으며 정보통신 기술의 발달로 인하여 인터넷으로 관리하고 있다.

기존의 직접부하제어 및 부하차단 프로그램도 일부 전력시장에서 상존하고 있으며 따라서 경쟁적 전력시장에서는 다음과 같은 차단 가능한 부하들이 참여할 수 있는 다양한 시장을 형성하고 있다.

■ 비상시 부하차단(Emergency Control)

전력계통 혹은 전력시장이 비정상적인 상황인 경우에 대한 시장으로, 전력계통 및 전력시장의 안정을 위하여 직접제어가능 부하 및 차단가능 부하들을 계통으로부터 분리하여 안정화를 도모하는 수단으로 활용된다.

■ 수요측 입찰시장(Demand-Side Bidding)

대부분의 도매경쟁시장인 경우에는 판매사업자들이 직접 혹은 부하관리사업자를 통하여 각 수요의 물량 및 가격을 입찰한다. 직접부하제어 혹은 차단가능 부하를 가지고 있는 판매사업자들은 시장 가격의 상승에 대비할 수 있는 유력한 수단으로서 가치를 갖게 된다.

■ 계통보조서비스시장(Ancillary Service)

직접부하제어 및 부하차단 프로그램들은 계통보조서비스(Ancillary Service)시장에 참여하여 수익을 창출할 수 있다. 계통보조서비스란 예비력(장/단기 수급불균형 조정), 무효전력, 전압, 부하차단(Load Shedding)과 같이 전력계통운용에 필수적이나 전력현물시장에서 거래될 수 없는 형태의 에너지를 의미한다.

■ 혼잡처리관리시장(Congestion Management)

직접부하제어 대상 및 차단가능 부하들은 혼잡관리의 시장에 참여하여 적절한 보상을 시장으로부터 받을 수 있다.

■ 자의적 전기요금절감(Voluntary Cost Savings)

시장에 참여하여 시장으로부터 적절한 보상은 없을 수도 있다. 그러나 소비자들은 특정 시간대와 특정 상황에서 자신의 부하를 제어할 수 있는 시스템이 구비되어 있는 경우, 자신의 생산공정 과정 및 시장상황을 보면서 스스로 차단가능부하들을 활용하여 전기요금을 절감할 수 있다.

3. 사례 연구

3.1 미국의 수요응답 프로그램 개요

미국전력시장에서는 수요응답을 “계통운영자에 의해 요청되는 부하응답과 최종소비자 스스로 관리하는 가격응답”으로 정의하고 있다. 경쟁적 전력시장은 합리적인 가격신호에 따라 공급과 수요가 상호 작용해야 하므로, 소비자가 가격에 대해 자신의 수요를 조절할 수 있는 능력의 부재는 결과적으로 특히 전기요금의 급변에 대한 전체적인 시장효율성을 감소시키게 된다.

미국전력시장의 수요응답 프로그램에 대한 B/C (Benefit/Cost) 분석결과 10.0 이상으로 확인되었다. 이러한 프로그램을 통해, 계통신뢰도 향상, 비용절감, 시장효율성 향상, 위험관리, 소비자 서비스 제공 및 시

장지배력 완화 등의 효과를 얻을 수 있으며, 도매시장직접참여(Time-sensitive pricing)만으로도 약 \$150억 정도의 이익을 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 또한 미국전력시장에서는 수요응답 프로그램의 성공적 추진을 위해 다음과 같은 요건들을 마련하고 있다.

- 소비자 참여
- 형평성 유지
- 강인한 시장 형성
- 합리적인 전력소비 계량
- 적시의 정산수행
- 합리적인 인센티브 제공
- 다양한 프로그램 참여
- 규제적인 정보에 대한 합의
- 규제적 검토 및 감독

3.2 시장별 수요응답 프로그램

3.2.1 New York의 수요응답 프로그램

수요응답 프로그램의 경제적 가치를 2001년 하절기동안 NYISO의 수요응답 프로그램 분석을 통해 살펴보면 다음과 같다. 이 기간동안 292개의 수용가들이 NYISO에서 시행하는 EDRP(Emergency Demand Response Program)에 참여했으며, 참여자들은 NYISO로부터 2시간 전에 통보를 받고 부하를 감소하는데 동의했는데, 소비자들의 약 72%가 LSE (Load Serving Entity)를 통해 참여했고, 반면 25%는 CSP (Curtailment Service Provider), 3%는 NYISO에 직접 계약하여 참여하였다. 참여자들은 최대 425MW 부하 삭감을 수행하였으며 프로그램에 대한 인센티브 지급금액은 4일 동안 총 \$4.2만으로 집계되었다.

수요응답 프로그램에 대한 첫 번째 편익은 수요응답과 관련하여 시장가격을 절감하는 것으로, 다섯 개의 지역에 걸친 지역기반한계비용(Location-based Marginal Pricing, LBMP) 분석을 통해 약 4일 동안 \$13만 이상의 추가이익이 발생한 것으로 분석되었다. 두 번째 편익은 가격변화의 진폭에 의해서 얻어지는데, 이것은 물리적인 쌍방 공급계약 이거나 혹은 재정적인 위험관리가 건 간에 LSE에 의해서 지불된 절감비용이라는 점에서 실제적인 이익에 해당한다. 2001년 8월에 4번의 부하삭감에 대한 평가 결과, 총 \$3만9천의 비용 절감이 발생한 것으로 집계되었다. 프로그램의 세 번째 편익은 신뢰도 향상으로 소비자는 절감된 정전비용을 얻는다. NYISO의 추산 결과, 약 \$4.2만의 정전지불비용에 근거할 때, 신뢰도 이익은 \$20만에서 \$40만에 이르는 것으로 추정된다.

위에서 논의한 비용과 편익은 2시간 전 통보에 의한 긴급조정 프로그램에 대해 계산한 것인데, NYISO는 또한 하루전 통보에 의한 수요응답 프로그램을 제공한다. DADRP(Day-ahead DRP) 프로그램은 부하삭감을 목적으로 입찰 참여자들을 참여시키고, 2001년 하절기동안, 16개 참여자들은 침두부하 삭감과 동시에 최대 25MW를 부하삭감 했다. 이 프로그램에 대해 지급된 비용은 총 \$20만 이상이고, 추가 편익은 \$1.5만으로 추정된다.

소비자들은 두 프로그램 가운데 하나에 참여할 수 있는데, 디젤 연료 발전기에 의한 부하삭감은 오직 긴급조정 프로그램에만 참여할 수 있고, 가스 연료 발전기에 의한 부하삭감은 긴급 조정 및 하루 전 조정 프로그램 모두에 참여할 수 있다. 소비자 조사에 따르면 비록 소비자들이 장시간 통지 기간과 높은 지급금을 선호하지만, 대체로 두 프로그램에 만족하는 것으로 나타났다.

3.2.2 PJM의 수요응답 프로그램

PJM에서는 전력시장의 안정화를 위하여 부하감소 시범 프로그램을 수행 중에 있으며, 2002년 이후 시장에 연동될 전망이다. 프로그램은 다음과 같다.

- 비상시 부하삭감 프로그램 : 해당지역의 모선별 한

계약 가격 가운데 가장 높은 값을 기준으로 사용하거나, 500\$/MWh를 기준으로 한다. 또한, 비상시 부하삭감이 발생할 때마다, 10\$/회의 인센티브가 추가적으로 주어진다.

- 평상시 부하삭감 프로그램 : 원칙적으로 시장가격에 반응하여 참여자들이 스스로 의사결정을 실시하고, 부하차단에 참여하였을 경우에는 아래의 식에 의하여 1시간동안의 지급액이 결정된다.

$$\bullet \text{ 지급액 } [\$] = [\text{시장 가격 } (\$/\text{kWh}) - \text{소매 가격 } (\$/\text{kWh})] \times \text{부하삭감량(kWh)}$$

상기 두 프로그램은 원칙적으로 시장에 연동하여 작동되는 프로그램이며, 부하관리 프로그램들이 상존하고 있다. 수동적 부하관리(Passive Load Management) 프로그램은 급수히터나 효율향상 프로그램 등과 같은 직접 제어가 불가능한 프로그램이므로 능동적 부하관리(Active Load Management) 프로그램에만 관여한다.

능동적 부하관리는 원칙적으로 제어센터에 의하여 부하를 제어하는 것으로서 자동적으로 부하를 차단하는 부하관리 행위를 말한다. ALM 프로그램은 PJM 시장운영자가 최대비상발전을 선언하고 난 후 발효되며, ALM이 발효된 후에는 전압강하를 통하여, 계통안정화를 도모하고 있다. 현재 PJM에 등록된 ALM 양은 1,850kW이며, 962kW (52%)는 계약에 기초한 차단 가능부하(Contractually Interruptible) 용량이며, 나머지 888kW (48%)는 LC 용량이다.

3.2.3 New England의 수요응답 프로그램

New England ISO(ISO-NE)는 부하응답 프로그램에 참가한 부하를 Class 1과 Class 2로 구분하였다. Class 1은 수요응답 프로그램에 참여하는 부하로써 ISO-NE의 지시에 응답하는 부하이며, Class 2는 가격응답 프로그램에 참여하는 부하로써 실시간 시장가격에 응답하는 부하를 의미한다.

2001년에 수행할 부하응답 프로그램을 위해, ISO-NE는 2001년 하계 예상첨두부하용량을 만족할 수 있는 적합한 발전용량과 운전예비력을 계획하였다. NEPOOL 기준 예상첨두부하용량은 23,650MW였으며, 하계 첨두시간에서의 계획된 순 발전용량은 약 27,100MW였다.

부하응답 프로그램 시범운영에는 6개의 NEPOOL 참여자가 시스템 테스트를 위해 참여하였다. 각 참여자는 3개의 부하와 1개의 분산전원으로 구성된 4개의 소비자 및 계약을 체결할 것을 요청 받았다. 15개의 시범단지 가운데 12개가 갱신되고 설비구축이 완료되었으며, 통신 테스트는 2001년 3월 28일과 29일 이틀에 걸쳐 수행하였다. 테스트는 2001년 4월 3일 오전 10시부터 12시까지 수행되었다. 그 결과, 12개 시범단지 가운데 10개 단지에서는 프로그램에 참여하고 부하삭감을 수행하였다. 1개 단지에서는 프로그램에는 참여하였으나 부하삭감을 수행하지 못하였으며, 나머지 1개 단지에서는 부하삭감 프로그램에 참여하는 것을 거부하였다. 시범운영 결과 20MW의 부하를 감소할 수 있었다.

3.3 입찰시장/비상시 수요응답 프로그램의 실적

수요응답 프로그램은 전력시장 입찰에 참여하는 입찰시장 프로그램(Economic DRP)과 비상시(Emergency DRP)에 시행되는 비상시 프로그램으로 나눌 수 있다. 다음 표는 각 시장별 입찰시장 및 비상시 수요응답 프로그램의 2002년도 실적을 각각 나타낸다.

<표 1> 비상시 수요응답 프로그램 실적(2002년)

시장 운영자	New England ISO	PJM	NYISO
가입수용가 수	79	-	1,711
실행회수/기간	0	14시간	32시간
전체부하절감량 (MWh)	0	551	5,941
평균부하감소 (MW)	0	39	668
평균지급액 (\$/MWh)	0	513.60	500.00

<표 2> 입찰시장 수요응답 프로그램 실적(2002년)

시장 운영자	New England ISO	PJM	NYISO
가입수용가 수	146	-	24
실행회수/기간	12	-	-
승인입찰량 (MWh)	(75MW 가입)	6,462	1,486
평균지급액 (\$/MWh)	234.37	117.92	-
평균지급계수 (LMP/MCP)	93.46	118.12	n.a.

위와 같이 부하응답 프로그램은 전력시장에 참여하여 효과를 가져올 수 있다.

4. 결 론

최근 전세계적으로 부각되고 있는 수요응답 프로그램(Demand Response Program)은 부하자원이 전력시장에서 유효하게 활용될 수 있는 결과를 잘 보여주고 있다. 현재 국내 여건상 부하관리는 요금제도와 직접부하제어로 대별될 수 있는데, 이 중 직접부하제어는 부하자원을 실시간 감시 및 제어한다는 의미에서 향후 국내에서 부하관리프로그램의 진화에 가장 기본적인 프로그램이라 할 수 있다. 따라서 국내에서도 직접부하제어에 참여한 부하의 제어가능성 및 적용 타당성에 대한 연구가 필요하다고 볼 수 있다.

또한 위의 사례와 같이 국내의 부하자원의 유용성이 검증되어 부하관리가 발전한다면, 향후 안정적인 전력계통 운영은 물론 소비자의 적극적인 참여에 따른 시장 활성화를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 산업자원부 및 한국전력연구원의 대학전력센터 지원프로그램에 의하여 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Peak Load Management Alliance, "Demand Response: Principles for Regulatory Guidance", Feb. 2002
- [2] International Energy Agency, "The Power to Choose(Demand Response in Liberalised Electricity Markets)", 2003
- [3] ISO New England, "Demand Response Program Evaluation Final Report", April 18, 2003