

직접부하제어프로그램의 활성화 위한 해외사례별 연구

이찬주\* · 김진호\*\* · 박종배\* · 신중린\* · 김창섭\*\*\*  
 \*건국대학교 전기공학과 · \*\*기초전력공학공동연구소 · \*\*\*한국산업기술대학교

Research for Activation of Direct Load Control Program in Power Market

C. J. Lee\* · J. H. Kim\*\* · J. B. Park\* · J. R. Shin\* · C. S. Kim\*\*\*  
 \*Konkuk University · \*\*EESRI · \*\*\*Korea Polytechnic University

**Abstract** - This paper describes a research for activation of direct load control program in competitive electricity market. A direct load control program after the restructuring of electric power industry will evolve to the bilateral information system to derive a voluntary participation of demand side resource. Therefore, this paper presented a right way of direct load control program for the foreign market research.

1. 서 론

과거 독점 전력회사가 주도적으로 추진하여 왔던 에너지 융합리화에 기초한 수요관리체계는 전력산업 구조개편이 추진됨에 따라 많은 부분 변화가 발생하였다[1]. 다양한 시장참여자들이 등장하는 경쟁적 전력시장에서는 수요관리의 체계 및 부하관리의 정의 뿐만 아니라 수행주체도 변화하고 있으며, 전력가격의 휘발성에 대한 대처의 일환으로 새로운 부하관리시스템의 연구분야가 활발히 진행중에 있다[2]. 하지만 기존의 수요관리프로그램 가운데 하나인 직접제어(Direct Control)는 프로그램 참여자의 의사가 전혀 반영이 안된 계약에 의한 단방향 구조의 강제적 부하제어로서, 많은 장점에도 불구하고 가입 수용가와 부하량이 저조한 결과를 가져다 주었다[1]. 따라서 경쟁적 전력시장이 갖는 가격의 가변성과 불확실성을 줄이면서 동시에 소비자 자신의 의사가 반영되는 능동적인 양방향 구조의 직접부하제어(Direct Load Control) 제도가 추진중에 있다.

본 논문에서는 이미 전력산업 구조개편이 정착된 각국의 직접부하관리제도에 대한 사례별 비교분석을 수행하고, 이를 토대로 우리나라 부하관리제도의 방향성을 제시하고자 한다. 또한 본 논문에서 수행한 사례별 연구는 향후 민간부하관리사업자의 활용지표로서 이용될 수 있으며, 나아가 에너지 관리사업의 활성화를 위한 밑거름으로 제공될 수 있다.

2. 해외 사례별 연구

2.1. 캘리포니아 전력시장

캘리포니아의 수요관리프로그램은 크게 DRP(Demand Relief Program), FLP(Participating Load Program), DLCP(Discretionary Load Curtailment Program), VLCP(Voluntary Load Curtailment Program)으로 그 운영 주체는 ISO에게 차단가능한 부하를 제공하는 부하관리사업자이다[3]. 이러한 부하관리사업자는 대규모 부하를 가진 수용가, 전력회사, 판매사업자, 배전회사 및 차단가능한 부하를 가진 사업자를 말한다. 부하관리사업자는 ISO로부터 부하차단 명령이 있을 때 최종소비자의 부하를 차단할 수 있는 프로그램과 시스템을 보유하고 있어야 한다. 그리고 차단명령을 내리는 ISO는 각 부하의 차단시간을 제한하고 있으며, 부하차단이 실시할 때마다 차단된 부하량과 시간을 산정하여 인센티브를 제공한다. 캘리포니아의 수요관리프로그램에 대한 각각의 특징은 다음과 같다.

■ DRP(Demand Relief Program)

캘리포니아의 DRP의 목적은 공급측 자원이 부족시 원하지 않는 소비자들의 부하차단을 최소화하고, 프로그램에 참여하는 소비자들에게 적절한 보상을 주기위함이다. DRP에 참여하는 수용가에게 지급되는 인센티브는 월간 예비력 예약의 형태로 주어지는 경우와 부하차단이 발생한 경우 에너지 보상금의 형태로 주어진다. 이러한 DRP에 참가할 수 있는 부하관리사업자는 한계 이상의 차단 가능한 부하를 보유하고 있어야 하며, 평균 부하감소 가능량이 1MW 이상이어야 한다. 또한 DRP에 참여한 부하관리사업자는 기타 프로그램에 참여하지 않아야 한다. 캘리포니아 ISO는 각 차단가능한 부하에 대하여 월간 24시간까지 부하차단을 실시할 수 있다. 프로그램에 참여한 부하에게는 \$20,000/MW/월의 보상액이 주어지며, 부하차단을 수행한 경우 추가적으로 \$500/MWh의 보상액이 주어진다.

· 부하감소량(DR<sub>j</sub>) 산정

부하차단 명령에 대하여 감소된 수요량은 아래 식(1)과 같이 계산된다. 계약된 부하의 j-시간대의 기대수요인 ED<sub>j</sub>는 이전 10일간의 j-시간대의 단순 평균으로 주어진다.

$$ED_j = (\sum_{k=1,10} MWh_{j,k})/10 \quad (1)$$

ISO의 부하차단 명령이 주어질 경우, j-시간대의 부하감소량은 기대수요량과 실제소비량의 차이로부터 계산되며, 아래의 식 (2)와 같다.

$$DR_j = ED_j - MWh_j \quad (2)$$

· 에너지지급금(Energy Payment) 산정

부하차단을 실시한 부하사업자에게는 차단된 부하에 대하여 아래 식 (3)과 같이 에너지지급금을 ISO가 지불한다.

$$Energy\_Pmt_j = DR_j * \$500/MWh \quad (3)$$

여기서, DR<sub>j</sub>는 예약된 수요감소량의 -10%~150%로 제한하고 있다.

· 월간 계약지급금(Monthly Reservation Payment) 산정

월간 계약지급금을 계산하기 위해서는 월간 평균 부하차단 이행률(MAP: Monthly Average Performance)을 계산하여야 하며, 이것은 매시간대의 부하감소량(DR<sub>j</sub>)의 평균값으로부터 주어진다. 단, 이때 시간대별 부하감소량(DR<sub>j</sub>)은 계약된 부하차단량의 0%~100% 사이값만 사용한다. 월간평균부하차단이행률(MAP)에 기초한 차단가능부하에게 주어지는 월간지급금은 아래의 표(1)과 같다.

[표 1] 월간 지급금 산정 기준

MAP	월간 지급액
MAP ≥ 50%	MAP * \$20,000/MW * Reserved_Demand
50%MAP ≥ 25%	(2*MAP - 50%) * \$20,000/MW * Reserved_Demand
MAP < 25%	0

■ DLCP(Discretionary Load Curtailment Program)

캘리포니아 ISO는 전력계통 및 시장의 안정성을 유지하기 위해서 하루전 요청(A day ahead request)과 당일 요청(A day

of request)의 두가지 형태를 지닌 DLCPL을 수행중이다.

DLCPL은 차단가능한 부하 가운데 DRP 및 PLP(보조서비스 시장 등)에 참여할 수 없는 자원을 최대한 활용하기 위해서 고안되었다. DRP 자원들은 DLCPL에 추가적으로 참여가능하다. DLCPL의 주요특징은 다음과 같다.

[표 2] DLCPL의 주요특징

참가자격	1MW 이상의 차단가능한 부하를 확보한 소비자	
차단부하 보상액	\$350/MWh	
부하차단시간	연중 07:00 ~ 20:00	
부하차단요청	하루전 요청	전일 16:00에 공고
	당일 요청	당일 08:00에 공고
부하차단제시	하루전 요청	요청일 18:00까지 차단가능부하량을 ISO에 제시
	당일 요청	오전 09:00까지 차단가능 부하량을 ISO에 제시
부하차단결정	하루전 요청	19:00까지 부하차단량 통보
	당일 요청	09:30까지 부하차단량 통보

■ PLP(Participating Load Program)

PLP는 시장 응동형 직접부하관리 프로그램으로서 차단 가능한 부하가 시장의 가격에 반응하는 것이다. 부하관리사업자는 비순동예비력, 대체예비력등의 형태로 보조서비스 시장에 입찰을 통하여 참여하거나, 보조에너지시장에 입찰하여 결정된 가격을 기초로 보상받는다. 캘리포니아 PLP의 주요특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 비순동예비력 및 대체예비력을 하루전 경매시장에 참여하여 낙찰된 경우에는 시장에서 용량금액을 지급받는다. 또한, 낙된 부하들에게 실제의 부하차단이 발생한 경우, 에너지지급금이 지급된다.
- 보조에너지시장의 경우, 특정 부하가 급전된 경우에 한하여 에너지지급금이 지급된다.

2.2. PJM 전력시장

2002년에 수행한 PJM의 부하삭감 시범 프로그램(Load Responsive Pilot Program)은 비상시 부하삭감만을 고려했으며, 시장청산가격(MCP)을 기준으로 부하차단에 대해 최소 \$500/MWh의 보조금을 지급하였다[4].

■ 비상시 부하삭감(Emergency Load Response) 프로그램

부하삭감에 대한 보상은 실제로 삭감된 kWh 값에다 손실을 감안한 값을 기초로 하여 계산된다. 실제로 삭감된 부하량은 비상시 부하삭감 시범 프로그램 신청 양식에 기입된 kW 값보다 작을 수도, 같을 수도, 그리고 클 수도 있다. PJM은 부하삭감을 수행한 PJM 회원에게 해당 지역(Zone)의 지역한계가격(LMP, Locational Marginal Price) 가운데 가장 높은 것으로 정산해 주거나, \$500/MWh 값으로 정산해 준다. 또한, PJM 회원은 한 번의 부하 삭감 이벤트에 대하여 \$10의 거래 사해금을 지급 받는다.

비상시 부하삭감의 경우, 지역한계가격보다 높은 가격으로 구매된 비상 전력에 소요된 비용은 PJM 회원에게 각 회원이 PJM 에너지 시장에서 해당 시간에 구매한 에너지량에 비례하여 할당된다. 이러한 원칙에 입각하여, 본 부하삭감 시범 프로그램에 소요된 비용은 에너지 구매자에게 해당 시간에 에너지 시장에서 구매한 에너지량에 비례하여 할당된다. 만약, 부하삭감 시범 프로그램 참여자가 ALM 프로그램에도 참가하고 있고 부하삭감 시범 프로그램이 실행되는 동안 ALM 프로그램도 일부 같은 시간에 실행되었다면, 부하삭감 시범 프로그램에 대한 정산은 부하삭감 시범 프로그램 실행 시간 가운데 ALM 프로그램이 실행되지 않은 시간에 대해서만 이루어진다. 그러나, ALM 프로그램에서 계약한 양 이상으로 부하 삭감이 이루어진 경우에 대해서는 해당 부하 삭감이 이루어진 시간에 대해 보상이 이루어진다.

■ 평상시 부하삭감(Economic Load Response) 프로그램

평상시 부하삭감 시범 프로그램은 PJM 시장 참여자의 결정에 기초한 판단에 따라 이루어진다. 즉, 시범 프로그램의 각 참여자들은 부하 삭감이 실제로 일어나게 될 상태를 결정하고 그러한 상태에서 일어날 부하 삭감을 실제로 수행할 책임을 진다. 이러한 부하 삭감 상태를 미리 알 수 있는 선행 지수는 PJM 시스템의 에너지에 대한 지역별한계가격(LMP, Locational Marginal Price) 이라고 할 수 있다. 적절한 시스템 상태를 유지하기 위해서, PJM 운영자는 각 가격대에서 삭감 가능한 부하량이 어느 정도나 되는지 가능할 수 있어야 한다. 이러한 값은 매일 매일 변하게 된다. 각 PJM 시장 참여자는 따라서 각자가 본 프로그램에 대해 서명한 부하 삭감 정보를 유지해야 할 책임이 있다. 평상시 부하삭감 프로그램 참여자는 그들이 적용 받는 지역별한계가격(Zonal LMP)을 고려했을 때 부하삭감을 수행하는 것이 경제적으로 이로운지 판단되면 언제든지 부하삭감을 수행할 수 있으며, 그렇지 않으면 수행하지 않아도 된다. 부하삭감에 참여한 소비자와 계약한 당사자가 해당 소비자의 부하에 실제로 전력을 서비스 하는 LSE이고 시범 프로그램에 등록하지 않은 경우, 부하삭감과 관련된 정산은 따로 없다. CSP에 의한 부하삭감의 경우, PJM은 해당 소비자의 에너지를 서비스하는 LSE가 적용 받는 LMP에 기초하여 해당 LSE에게 부하삭감에 대한 고지서를 발행한다. 그리고 난 후, PJM은 해당 소비자에게 부하삭감을 수행하지 않았다면 LSE가 받을 수 있었던 소매 전력 및 송전요금을 돌려준다. 해당 소비자 또는 다른 공급사업자에게 전력을 공급하는 LSE에게 부하삭감에 대해 청구되는 지역한계가격과 부하삭감에 의해 LSE에게 반환된 소매요금의 차이는 해당 부하삭감을 실제로 계약한 계약자에게 지급된다. 평상시 부하삭감 시범 프로그램 참가자의 개별 부하 삭감량은 처음 등록 당시 삭감하겠다고 선언한 양보다 작을 수도, 같을 수도, 또는 클 수도 있다. 프로그램 참여자가 ALM 프로그램에도 참가하고 있고 부하삭감 시범 프로그램이 실행되는 동안 ALM 프로그램도 일부 같은 시간에 실행되었다면, 부하삭감 시범 프로그램에 대한 정산은 부하삭감 시범 프로그램 실행 시간 가운데 ALM 프로그램이 실행되지 않은 시간에 대해서만 이루어진다.

PJM의 부하삭감 시범 프로그램은 자발적인 참여를 권장하여 프로그램 불이행에 대한 페널티를 주지 않았으며, 또한 상대적으로 간단하였고 전력회사는 참여할 수 없었기 때문에 프로그램 실행에 따른 확실한 잠재이익이 보장되었다. 그러나, 이 프로그램은 전력소비 계량에 있어서의 불확실성과 부하삭감통보 방법에서의 문제점이 존재한다.

2.3. New England 전력시장

New England ISO(ISO-NE)는 LRP(Load Response Program)에 참가한 부하를 클래스 1과 클래스 2로 구분하였다[5]. 클래스 1은 DRP(Demand Response Program)에 참여하는 부하로써 ISO-NE의 지시에 응동하는 부하이며, 클래스 2는 PRP(Price Response Program)에 참여하는 부하로써 실시간 시장가격에 응동하는 부하를 의미한다. LRP는 차단부하량이 100kW 이상인 산업용 및 상업용 소비자를 대상으로 시행되었으며, 이를 통해 300~600MW의 수요를 감소하였다. LRP는 대규모 소비자가 자신의 에너지 사용량 및 이에 따른 비용을 직접 조절할 수 있도록 함으로써 시장효율성을 향상시킨다. 실제로 이 프로그램에 참여함으로써 연간 3000만\$의 비용을 절감할 수 있는 것으로 추정되고 있으며, 또한 이를 통해 도매시장가격의 변동을 안정시킬 수 있다.

클래스 1 부하에 대한 DRP에서, 프로그램 등록 참여자는 30분 예비력가격을 바탕으로 프로그램 참여에 대해 매일 보상받는다. 만약, 부하삭감을 요청 받은 경우, 프로그램 등록 참여자는 실제 수행한 부하삭감량에 대해 에너지청산가격(ESP)을 바탕으로 보상받는다. 한편, 소비자는 프로그램 등록 참여자와의 계약을 바탕으로 보상받는다.

클래스 2 부하에 대한 PRP에서, ISO는 예상 에너지청산가격이 \$100이상일 경우, 트리거를 초기화하며 클래스 2 실행에 대한 시간주기를 정의한다. 소비자는 부하를 삭감할 경우,

예상/실제 에너지청산가격 가운데 하나를 선택할 수 있다. 한편, 프로그램 등록 참여자는 부하삭감이 실행된 시간동안 에너지청산가격을 바탕으로 보상받으며, 소비자는 프로그램 등록 참여자와의 계약을 바탕으로 보상받는다. 이러한 부하감소는 시장가격의 상승을 억제할 것이다.

#### 2.4. Texas 전력시장

ERCOT는 Texas 전력시장의 DR(Demand Response)에 필요한 차단가능한 부하 자원을 판매한다. ERCOT 전력시장은 다음과 같이 특징을 갖는다.

- 발전 및 보조서비스 자체 공급.
- 판매회사에 예비력 확보에 대한 책임을 부과하지 않음.
- 수요측 자원(interruptible or curtailable load)을 확보하고 운영하는 별도의 시장은 개설하지 않음.
- 수요측 자원은 발전기와 동일하게 전력시장에 참여할 수 는 있음.
- 수요측 자원의 시장참여는 인증된 사업자(QSE, Qualified scheduling entity)를 통해서만 가능함.
- 일일 전(Day-ahead) 입찰시장을 운영.

현재 3,000MW의 차단가능한 부하 중 약 500MW의 부하가 계통보조서비스시장으로 이전되고 있으며, 이러한 부하들은 대부분 열병합으로 대체되고 있다. 현재, 직접부하제어 프로그램에 참여하고 있는 부하들도 향후 대부분 계통보조서비스 시장으로 이행될 것으로 예상되나 당분간은 부하차단 프로그램에 대한 전망이 그다지 낙관적이진 않다. 그러나, 현재 수요측 자원에 대한 등록, 계량 및 통신절차에 대한 개발작업을 계속 추진하고 있다. 이러한 차단가능한 산업용 부하는 예측 불가능한 변화를 보이는 부하자원으로서 한계를 갖는다. 우선, 수요측 자원이 보조서비스시장에서 자원으로서 역할을 하기 위해서는 높은 수준의 예측가능성이 존재해야 하고, 다음 날 시간대별 부하의 예측 수준이 ERCOT가 요구하는 정확도 이내로 예측하기가 매우 어렵다. 그리고 시스템 운영자(ERCOT ISO)는 보조서비스의 초과/과잉 공급에 대한 운영상의 어려움이 있고 이러한 이유로 인해서 현재 시장 설계상, 시장회피가 적은 어려움이 있다.

Texas 전력시장의 DR은 사전공지시간(10분-45초)이 너무 촉박하고, 이에 따라 수요측 자원이 시장가격에 반응하기 어렵다. 또한 ERCOT의 DR 프로토콜 및 요구사항에 대한 불분명한 해석 및 이에 따른 시장참여자의 서로 다른 해석 존재하고 ERCOT ISO의 준비부족 및 정보제공 부실이 심각하다. 또한 단순히 판매회사와 계약하여 요금을 절약하는 기존의 방법에 비해 요구사항 및 필요정보가 복잡한 단점도 있다.

#### 2.5. New York 전력시장

본 논문에서는 2001년 하절기동안 NYISO에 실시한 DRP(Demand Response Program)의 경제적 가치를 분석수행하였다. NYISO에서 실시한 DRP는 비용측면 뿐만 아니라 더 많은 부분에서 편익이 있었다. 2001년 하절기동안 약 292 소비자들이 NYISO가 제공하는 EDRP(Emergency Demand Response Program) 프로그램에 참여했다. 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)를 통해 참여했으며, 3%는 NYISO에 직접 계약하여 프로그램에 참여하였다. 참여자들은 최대 425MW 부하 삭감을 수행하였으며 프로그램에 대한 인센티브 지급금액은 4일 동안 총 \$4.2만으로 집계되었다[6]. DRP에 대한 편익은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 시장가격 감소로 인한 비용절감.
- 가격변동 위험감소로 인한 헷징비용 절감.
- 정전감소로 인한 최종소비자의 정전비용 절감.

DRP의 첫 번째 편익은 시장가격을 절감하는 것으로, 다섯 개의 지역에 걸친 지역기반 한계비용 (LBMP, Location Based Marginal Pricing) 분석을 통해 약 4일 동안 \$13만 이

상의 추가이익이 발생한 것으로 분석되었다. 두 번째 편익은 가격변화의 진폭에 의해서 얻어지는데, 이것은 물리적인 쌍방 공급계약 이거나 혹은 재정적인 헷징이건 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 추정되었다.

NYISO의 하루전 통보에 의한 DADRP (Day-ahead Demand Response Program)는 부하삭감을 목적으로 입찰 참여자들에게 참여시키고, 2001년 하절기동안, 참여자들은 침두부하 삭감과 동시에 최대 25MW의 부하삭감을 제공했다. 이 프로그램에 대해 지급된 비용은 총 \$20만 이상이고, 추가 편익은 \$1.5만으로 추정되었다.

소비자들은 두 프로그램 가운데 하나에 참여할 수 있는데, 디젤 연료 발전기에 의한 부하삭감은 오직 긴급 조정 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. 결 론

본 논문에서는 경쟁적 전력시장이 갖는 전력가격에 대한 불확실성과 계통의 원활한 공급균형의 일환으로 추진중인 직접부하제어사업의 올바른 방향성에 대해서 이미 전력산업 구조개편이 정착된 각국의 사례를 통해서 제시하였다. 직접부하제어사업은 각 나라별로 전력시장의 환경에 따라서 제도적 장치와 프로그램 참여에 대한 지원금이 상이하지만, 경쟁적 전력시장의 환경에서 수요측의 능동적 반응이라는 점에서 중요성이 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서 수행한 각 국별 사례를 토대로 우리나라의 시장환경에 알맞은 직접부하제어 프로그램의 설계가 요구된다.

#### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원 사업으로 수행된 논문입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단, 직접부하제어 사업 활성화를 위한 적정 지원금 산정방안 연구, 2002. 1
- [2] Peak Load Management Alliance, Demand Response: Principles for Regulatory Guidance, Feb. 2002.
- [3] California Public Utilities Commission, California Energy Commission, Economic Analysis of Demand-Side Management Programs: Standard Practice Manual, Dec. 1987.
- [4] PJM, PJM 2001-2002 Load Responsive Pilot Program, 2001.
- [5] INO-NE, Load Response Program Manual, July 17, 2001.
- [6] NYISO, NYISO PRL Program Evaluation: Executive Summary, Jan. 15, 2002.