

직접부하제어자원의 활용방안에 대한 연구

김진호\*, 박종배\*\*, 박종근\*\*\*

\*기초전력공학공동연구소, \*\*건국대학교, \*\*\*서울대학교

A Study on the Implementation of Direct Load Control Resource

Jin-Ho Kim\*, Jong-Bae Park\*\*, Jong-Keun Park\*\*\*

\*EESRI, \*\*Konkuk University, \*\*\*Seoul National University

**Abstract** - 경쟁적인 전력시장에서의 전력 가격은 전력에 대한 수요(Demand)와 공급(Supply)에 의한 시장원리에 의해 결정되기 때문에, 매 시각의 전력가격은 정해져 있지 않고 시장에 의해 결정된다. 이와 같이 전력가격이 가지는 가변성 및 불확실성(Volatility) 때문에 향후 전력 시장에 참여하는 사업자의 수입(Revenue) 및 수익 규모의 불확실성이 커지는 한편, 전력을 사용하는 소비자의 에너지비용도 그 불확실성이 매우 크게 증가하게 마련이다. 이러한 전력가격의 가변성(Volatility)과 불확실성(Uncertainty)이 대두됨에 따라, 외국의 경우, 가정용 부하와 같은 소규모 전력소비자를 제외한 대부분의 대규모 소비자(산업용, 상업용, 일반용 전력소비자)들은 전력가격이나 자신이 사용하고 있는 전력의 소비패턴과 같은 정보(Information)와 전략(Strategy)이 없는 경우, 예전에 비해 상당히 높은 전기요금을 지불해야 하는 상황에 처하게 되었다. 본 논문에서는 이러한 경쟁적 환경에서 직접부하제어자원을 활용하여 비용 및 위험을 관리하는 해외사례를 집중적으로 분석하고자 한다.

미국 Edison Electric社의 평가에 따르면 1998년에 부하관리 프로그램에 약 27,000MW의 부하만이 서명했으며, 그 부하의 약 50%가 산업용 수용가이고, 약 25%가 상업용, 그리고 약 25%가 주거용이다. 최근 전기 사업자들은 Demand Response에 많은 관심을 보여왔는데, 2001년에 국가조사기관에 따르면 몇 가지 이유에서 부하 관리에 대한 관심을 보여왔으며, 위 표는 수요자원의 활용 목적에 대한 조사 결과를 나타내고 있다.

미국의 경우, 국가적으로 발전예비력은 1993년에 21%에서 1999년 11%로 떨어졌는데[2], 이것은 비용 효과와 더불어 Demand Response 자원의 흥미유발에 도움을 주었다[3]. 예비력에 대한 추이는 신뢰도 분야와 관련이 있으며, 아래 표는 각각의 북미지역에서 2002년부터 2005년의 예측된 예비력을 나타낸다.

송전용량 제약은 Demand Response 자원을 활용하여 처리할 수 있는데, 이러한 송전선로 혼잡은 점점 더 증가하고 있다. 혼잡 비용은 2000년도에 New England, New York, PJM, 그리고 California에서 약 800 만 달러 이상으로 추정되었다[4].

1. 서 론

미 EPRI는 수요자원의 시장참여인 DR (Demand Response) 프로그램이 미국의 첨두부하 수요의 약 6% 또는 약 45,000MW를 감소할 수 있을 것이라고 평가했으나[1], 해외 시장에서 아직 DR 자원 시장은 겨우 초보 단계이다. 즉, 수요관리 운용시스템을 가진 사업자들은 조명, 냉동부하, 그리고 다른 에너지 소비를 관리할 능력을 가지고 있는 정도로, 생산과정, 제조과정, 그리고 다른 산업 활동은 첨두기간 동안에 부하사용이 이동되거나 삭감되었다.

표 1. 부하관리 프로그램 참여 이유 (Ratings from 5 to 1)

Objective	Rating
Reduce system peaks	4.55
Reduce high-cost energy	4.23
Economic advantage for utility	3.78
Savings to consumer	3.55
Maintain customer comfort	3.42
Reduce capacity constraints	3.37
Load shifting	3.20
Maintain system stability	3.18
Use for operation considerations	2.95
Reduce reserve requirements	2.95
Improve utility's system-wide efficiency	2.91

표 2. 북미전력시장의 예비력 예측치

	2002	2005
ECAR		
Regional Assessment	14%	11%
e-Acumen Assessment	25%	26%
ERCOT		
Regional Assessment	40%	35%
e-Acumen Assessment	47%	38%
FRCC		
Regional Assessment	20%	23%
e-Acumen Assessment	37%	22%
MAAC		
Regional Assessment	26%	52%
e-Acumen Assessment	22%	25%
MAIN		
Regional Assessment	29%	27%
e-Acumen Assessment	24%	27%
NEW England		
Regional Assessment	33%	26%
e-Acumen Assessment	38%	36%
New York		
Regional Assessment	17%	31%
e-Acumen Assessment	22%	34%
WSCC		
Regional Assessment	25%	46%
e-Acumen Assessment	26%	44%

이러한 송전 선로 혼잡의 추이는 향후 전력시스템의 품질을 저하할 것으로 예측되는데, 최근의 신뢰도 평가에서 NERC는 향후 10년동안 새로운 송전선 건설이 미미할 것이며, 이러한 결과로써, NERC는 송전선로계약이 예상되며 송전선로 혼잡이 증가할 것으로 보고 있다[5]. 또 다른 연구조사는 1999년과 2009년 사이에 201MW-miles/MW로부터 176MW-miles /MW까지 송전용량을 낮추기로 계획하였다. 만약 새로운 송전선 건설이 현재의 송전용량 레벨을 유지한다면, 투자는 총 560만 달러로 추정되고, 이것은 송전선로의 현재의 장부 가치와 동일하다. 이처럼 DR 자원은 발전용량과 송전선, 그리고 배전의 에너지의 전반적인 분야에 걸쳐 반드시 필요한 요소로 받아들여지고 있다.

## 2. 해외전력시장의 직접부하제어 활용방안

### 2.1. 직접부하제어(Direct Load Control)

미국의 직접부하제어(DLC)는 우리나라의 직접부하제어와는 성격이 다르며, 주로 주택용 에어컨 제어를 그 대상으로 한다. 이러한 제어는 상대적으로 짧은 기간동안 부하를 줄일 수 있는 장치를 가진 소비자를 목표로 삼는데, 가장 일반적인 직접부하는 다음과 같다.

- 주거 중심의 냉동부하(에어컨)
- 보일러
- 수영장 펌프 등

에어컨을 조작하는 방법에는 타임스위치(Time Switch)를 이용한 자체조작, 온도 조절기(Thermostat)의 온도 설정치에 의한 부하조정 혹은 전력회사에서 직접 원격조정으로 on/off 시키는 등 다양한 방법이 있다. 원격조정을 위해서는 전력회사에서 각각의 대상 수용가에 제어신호를 보낼 수 있는 통신망 또는 원격조정에 적절한 통신수단을 가지고 있어야 한다. 이러한 상호정보교환은 사업자로부터 라디오 신호를 통해 종종 이루어지는데, DLC 프로그램은 일반적으로 참여자에게 강제적으로 수행되어왔다. 보다 진보한 제어 시스템을 가진 몇몇 프로그램의 옵션사항에는 자발적 참여가 있으며, 이러한 자발적 참여는 참여자에 대한 낮은 보상지급이 반영될 것이다. 이 통신망을 이용하여 전력회사는 수용가 에어컨의 압축기의 전원을 차단함으로써 부하량을 조절하게 된다. 이 경우에는 여러 수용가를 그룹으로 정하여 순번으로 돌려가며 차단하는 순환 차단 방식이 많이 쓰이고 있다. 온수기가 많이 사용되는 지역에서는 온수기도 중요한 대상이 된다. 특히 축열식 온수기의 경우에는 3-4 시간 동안 전원이 차단되어도 수용가에서는 별 불편을 느끼지 못하기 때문에 매우 유리한 대상 중 하나이다.

직접부하제어 프로그램은 일정한 기간동안 부하를 줄거나 돌릴 수 있는 장비를 가진 소규모 상업 기관과 주거용 수용가 소비자를 목표로 삼으며, 제어 설비로는 에어컨, 보일러, 양수기, 수영장 펌프를 포함한다. 스위치는 직접 설비를 제어하기 위해 설치되거나 자동 온도 조절기(thermostat)의 온도 설정치에 의해 부하조절을 한다. 프로그램에 참여한 고객들은 제어 시행 당 6시간을 초과할 수 없고 계절 당 15번 이상 시행할 수 없는 제한된 제어와 기간에 대해서 동의하는데 여기서 다른 가변적 요소로는 에어컨의 순환주기가 있다. 어떤 프로그램에서는 매 30분마다 에어컨과 같은 냉방부하를 15분 주기로 off 시키거나 50% 순환하는 전략 가운데 하나만 선택하도록 하며, 다른 프로그램은 순환반복 주기를 33%, 50%, 그리고 100%와 같이 여러 번 선택할 수 있도록 한다. 이러한 거래를 통해서, 프로그램에서 소비자는 각각의 에어컨과 같은 냉동부하에 대해서 하절기 침투기간 동안

월 당 \$8과 같이 현금 또는 채권(credit)을 얻는다. 또한 순환반복 기간의 지속은 비교적 짧은 기간보다 비교적 장기간이 더 많은 채권을 얻는 옵션이 있다.

다른 옵션으로는 인센티브 또는 가격에 대한 항목을 소비자 이용가능 하도록 한다. 소비자는 계통 상태를 기반으로 얻을 수 있는 실시간 가격 또는 채권 제공받을 수 있을 것이다. 더욱이, 도매시장가격이 현저히 높다면, 소비자는 제어시스템 프로그램을 가지고 부하를 보다 자주 또는 장기간 순환반복 할 것이다. 차별된 가격에 따라 반응하는 소비자의 특징과 더불어 직접부하제어는 load response 프로그램보다 price response 프로그램으로 분류될 것이다. 사업자 또는 LSEs (Load Serving Entities)부터 소비자까지 정산하는 것은 매달마다 청구되거나 청구금액이 많은 경우 절기의 말일에 한번에 청구된다. 감시에 대한 승인은 일반적이지는 않으나, 그러나 양방향 정보교환 시스템을 사용하여 보다 비용 효과적 증진될 수 있다.

### 2.2. 부하차단프로그램(Interruptible Program)

지난 수 십 년 동안, 전력회사들은 계통 신뢰도 측면에서 부하차단 프로그램을 제공했는데, 이러한 Interruptible program이 우리나라의 직접부하제어와 매우 유사한 개념의 수요자원이다. 이러한 부하차단 프로그램의 주요 특징은 다음과 같다.

- 적어도 1MW 이상의 대규모 부하 삭감
- 1시간 또는 10분전에 용하기 위한 짧은 통지
- 차단은 연중 언제든지 요구될 수 있음
- 강제적 운용
- 수행실패에 따른 높은 페널티
- 연중동안 최대 차단부하수 허용
- 전기요금 할인

대부분의 참여자들은 부하차단시간을 가능한 적게 하려고 하나 많은 사업자들이 소비자들의 부하를 차단하는 경우는 매우 드물다. 이것은 부하차단 프로그램이 부하관리보다 경제적 이유로 점점 더 발전되기 때문이다. 강제적 이행과 관련한 쟁점은 엄격한 페널티를 부과인데, 부하차단의 요구에도 이행하지 않는 소비자들에게 사업자는 페널티를 부과할 수 있는 규정을 갖고 있다.

### 2.3. 부하삭감프로그램(Curtailable Load)

극단적인 부하차단 프로그램(Interruptible Program)에 선택사항을 첨가하기 위해 전력회사들은 보다 유연한 차단부하프로그램인 Curtailable Load Program (CLP)를 제공한다. 이러한 CLP의 주요 특징은 다음과 같다.

- 최소 100 ~ 200kW의 작은 부하 삭감
- 보다 작은 부하 차단 요청
- 부하차단 요청은 오직 주중과 오전 11시부터 오후 7시 사이에 요청
- 목표 부하삭감량 실패에 대한 적은 페널티
- 부하삭감량에 따른 보상과 기준요금에 반영

소매사업자와 같은 상업적인 기관은 보다 쉽게 참여가 가능하며, 예비발전기를 가진 사업자들은 조명과 냉동부하를 줄이지 않을 수 있을 뿐만 아니라 그들의 부하에 대해서도 일부 또는 전체를 이동하지 않아도 된다. CLP 선택사항은 참여자를 개별적으로 다룰 수 있거나 일괄적으로 다룰 수 있는데, 대부분의 프로그램이 개별적으로 교섭하고 개별적으로 보상한다. CLP에 대한 많은 쟁점 가운데 특히 한 가지 쟁점은 부하삭감 시행에 대해서 제한 시간과 날짜를 어떻게 관리하느냐는 것이다. 만약 관리자가 부하삭감을 충분히 잘 관리하지 못한다면, 그들이 부하삭감을 요구할 때 부족한 자원을 가지고 부하삭감 시행기간에 이를지도 모른다. 그러나 대부분의 전력

회사들이 부하삭감기간동안 수익손실을 심각하게 고려하기 때문에 보통 부하삭감 종료기간에는 모든 이벤트를 실행하지 않는 경우가 있다.

#### 2.4. 비상시 프로그램(Emergency Response)

Emergency 프로그램의 대상 고객은 LSEs 또는 CSPs(curtailment service provider)와 같은 그룹(aggregator) 또는 최종 수용가이다. 프로그램에 참여한 최종 수용가는 일반적으로 시행 당 100kW와 같이 최소 부하삭감량을 제공할 수 있는 대규모 상업용 그리고 산업용이나, 주거용 집단 또는 소규모 상업용 고객을 제한된 경우에 따라서 허용된다. Emergency 프로그램은 계통 신뢰도를 고려한 계통 상태에 따라서 발생된다. Emergency price response 프로그램은 어떤 특정한 이벤트에 참여하지 못하는 옵션을 소비자에게 줄 것이다. 그러나, 어떤 ICAP(Installed Capacity Program)는 오직 긴급(emergency) 상황에서 요청되고 이 때 부하 삭감은 강제적이다. Emergency 프로그램은 지역적 한계 비용(locational marginal price) 따라 다양한 지급금을 갖거나 또는 500 \$/MWh와 같이 최소 지급금을 갖는다. 일반적으로 삭감(curtailment) 프로그램은 프로그램 참여에 대해서 고정 비용을 갖는다. Emergency 프로그램은 부하 절감 방법이나 정보교환수단, 이벤트 시행 기간과 회수, 통보 회수, 그리고 측정기 유형 등에서 부하 삭감(load curtailment) 프로그램과 유사하다.

#### 2.5. 평상시 프로그램(Economic Response)

Economic 프로그램은 emergency 프로그램과 유사한 참여자와 자원을 대상으로 삼는다. 참여자는 제안된 가격을 주시하거나 하루 전 시간대별 가격을 정하고 나서 부하 절감량을 제공함으로써 price taker가 될 것이다. 상대적으로, 참여자는 입찰 가격(bid price)에 따라 시간대별로 부하를 입찰할 것이다. 몇몇 프로그램을 통해서, 참여자에 의해서 입찰할 때 하루 전 절감량 뿐만 아니라 동일한 날의 부하 절감량을 선택할 수 있다. 구매자는 다른 자원에 의존하거나 또는 공급자를 선택할 수 있는 옵션을 갖는다. 만약 공급자가 채택된다면, 소비자는 반드시 수행해야만 한다. 지급금은 참여자에 의해서 입찰된 입찰가격에 의하고 하루 전 프로그램을 통해서 구매자에 의해서 채택된다. 몇몇 프로그램에서 만약 참여자가 추가 절감을 제공한다면 그들은 LMP(Locational marginal price)를 지불 받을 것이다. 참여자는 기동비용을 얻을 것이고 시간에 대한 최소한의 운전을 요구할 것이다. 동일한 날에 참여자는 만약 부하가 ISO에 의해서 급전된다면 그들의 입찰가격과 LMP보다 높은 입찰가격을 받을 것이다. 측정기와 정보교환 시스템은 부하삭감(load curtailment)과 emergency 프로그램과 유사하다.

#### 2.6. 실시간요금제(Real-time pricing)

Real-time pricing 프로그램의 대상 고객은 부하를 이동하거나 감소할 수 있는 능력을 가진 상업용과 산업용 소비자이다. 운전은 다른 상업용/산업용 프로그램에서 이용 가능한 일반적인 옵션을 포함한다. 보다 진보한 정보 교환 시스템은 실시간 에너지 사용량과 시장 가격 예측을 위해서 소비자에게 허용한다. 한가지 특이한 점은, 소비자들은 다음날 시간대별 가격을 제공받는다. "Two-part" 요금은 연간 시간대별 기본 에너지 사용료를 규정한다. 사용량에 따른 변동요금은 SMP를 사용하여 기본요금보다 낮으면 할인해 주는 프리미엄을 준다. 그리고 정산은 매달마다 이루어진다. "Two-part" 요금제에서 한가지 선택 사항은 시간대별 가격이 모두 사용량에 따르는 "One-part" 요금제이다.

### 3. 결론

현재 우리나라는 전력산업 구조개편 이행기에 있으며 전력시장과 연관되어 직접부하제어 혹은 부하차단 프로그램이 아직 실시되고 있지는 않으나 도매경쟁시장 및 소매경쟁시장이 본격적으로 도입되게 되면 이와 같은 DR 자원의 전력시장 참여가 본격적으로 이루어질 것으로 전망된다. 따라서, 앞으로 기존의 수요관리 프로그램에 대한 정확한 분석 및 해외 전력시장의 경험을 조사하고 분석하여 향후 우리나라 전력시장에 적용할 수 있는 수요측 자원의 시장참여 방안을 광범위하게 연구해야 할 것으로 판단된다.

### 4. 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구조 지원사업으로 수행된 논문입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] EPRI, "The Western States Power Crisis: Imperatives and Opportunities", June 25, 2001.
- [2] Edison Electric Institute, "EEI Statistical Yearbook", 2001.
- [3] Charles Newton, "From DSM to Demand Response", Electric Perspectives, Nov. 2001.
- [4] R. Gales, J. Graves, J. Clapp, "The Future of Electric Transmission in the United States: A Vision for Transmission as a Vibrant, Stand-Alone, For-Profit Business", Jan. 2001.
- [5] NERC, "Reliability Assessment 2001-2020: The Reliability of Bulk Electric Systems in North America", Oct. 2001.