

시간대별 한계발전비용의 특성

김광인* · 김영창

한국전력공사 전력경제처

<요 약>

본 논문은 전력공급 한계비용에 대한 기본개념 및 시간대별 한계발전비용에 대한 계산방법 소개와 우리 나라 전력계통의 '94년도 시간대별 한계발전비용의 특성 분석에 중점을 두었다. 시간대별 한계발전비용은 전력계통 일부 부하선의 형태와 매우 유사하여 주간시간대에 높고, 심야시간대에는 낮으며, 계절적, 요일적으로도 차이가 있다. 본 시간대별 한계발전비용의 계산 방법 및 결과는 향후 우리 나라의 전기요금체계에 한계비용의 원리를 도입하는데 있어 기초 자료로 활용할 수 있으며, 아울러 수요관리정책수립, 양수발전소 운전 및 계획분야 등에 적용이 가능하다.

1. 서론

전기요금 결정의 기본요소로서 평균비용과 한계비용이 있는데, 전자는 이미 지출된 비용을 회수한다는 개념인 반면에 후자는 미래의 전력공급비용에 대한 추정으로 볼 수 있다. 현재의 우리 나라 전기요금 체계는 일부 부문에 한계비용적인 요소가 가미되었다고 볼 수 있으나 전체적으로는 평균비용에 근거를 두고 있다.

한계비용에 입각한 전기요금체계는 전력사용량의 증가에 따른 전력생산비용의 변동에 대한 신호(Signal)를 제시해 줌으로써, 수용가의 전력사용을 올바르게 유도하는 효과를 발휘한다. 따라서 자원의 최적배분이나 이와 관련한 수용가의 최적전력사용을 유도한다는 측면에서, 향후의 전기요금체계는 이러한 한계비용 원리에 입각하여 이루어질 것으로 전망되며, 현재 세계 여러 나라에서는 이의 적용 및 관련분야에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다.

그러나 한계비용 전기요금체계를 구축하기 위해서는 전력공급의 한계비용을 구체적으로 어떻게 계산할 것인가 하는 문제점을 가지고 있다. 특히, 전력공급 한계비용을 계산하는데 있어서는 여러가지 이론이 있고, 실제로 이를 계산하는 것이 어렵기 때문에 현재까지 전기요금에 이를 직접 적용하는 예는 많지 않다.

전력공급의 한계비용은 한계설비비용과 한계에너지(발전)비용 등으로 구분할 수 있다. 이 중에서 한계설비비용은 단위전력(kW)당 설비비용을 의미하며 전기요금에 있어서는 기본요금의 성격을 갖는다. 따라서 이러한 한계설비비용을 시간대별로 계산하는 문제는 단위전력(kW) 당으로 정의되는 비용을 시간대별 단위전력량(kWh) 당으로 할당하는 것으로서, 실제로 존재하는 값이라기 보다는 논리적 타당성 측면의 문제이다. 반면에 한계에너지(발전)비용의 경우에는 여러 가지 계산상의 변수는 있지만 실제로 계산이 가능한 값이다.

본 연구에서는 전력공급 한계비용에 있어서 한계에너지(발전)비용을 시간대별로 계산하고 이의 특성을 분석하는데 주안점을 두었으며, 한계설비비용에 대해서는 이에 대한 간략한 소개에 그치고 이를 실제로 계산하지는 않았다.

2. 전력공급 한계비용

2.1 한계비용의 구분

전력공급 한계비용은 크게 한계설비비용, 한계에너지(발전)비용으로 구분할 수 있다. 한계설비비용이란 전력을 1 단위 추가하여 공급하기 위해 증설하는 발전설비의 투자비용(원/kW)을 의미하며, 한계발전설비의 선정방법에 따라 달라질 수 있다. 한계발전설비의 선정방법으로서는 첨두설비법(Peaker Method), 계획조정법(Forward/backward Method), 시스템 최적화법(System Optimization Method) 등이 있으며, 이러한 한계설비의 선정방법에 따라 시간대별로 이를 할당하는 방법도 달라지게 된다. 일반적으로는 한계설비로서 첨두설비를 선정하고, 첨두시간대에만 한계설비비용을 할당하는 간단한 방법인 첨두설비법이 많이 거론되고 있다. 그러나 일정기간 동안의 전력수요의 증가에 대해 시스템비용을 최소화하는 새로운 전원개발계획을 수립하고, 이에 의한 설비증설비용을 연도별 및 전력공급시장확률에 따른 시간대별로 단위전력량에 배분하는 시스템최적화법이 보다 합리적인 방법이라고 말할 수 있다.

한계에너지(발전)비용이란 부하가 1 단위(혹은 ΔD) 만큼 늘어난 경우에 더 소요되는 연료비 및 운전비(혹은 추가비용/ ΔD)를 말한다. 이러한 한계발전비용은 해당 시간대에 운전중인 발전기 중에서 미소부하의 증분/감소에 대하여 출력조정을 담당하는 발전기의 해당 출력수준에서의 단위전력량당 발전비용이 된다. 이러한 시간대별 한계발전비용은 부하특성, 발전기특성, 연료가격, 발전기정비, 발전기 기동정지, 순동예비력, 고장정지율 등, 전력계통운영에 관련된 제반 요소에 따라 변동하므로 이를 간단하게 계산하기는 어렵고 일반적으로 발전비용 계산용 전산모형을 이용하여 계산한다.

2.2 한계발전비용의 계산방법

전력계통의 시간대별 한계발전(에너지)비용을 계산하기 위해서는 발전비용을 계산할 수 있는 전산모형을 사용하여야 한다. 이러한 발전비용 계산용 전산모형으로서는 ENPRO, POWRSYM+, POLARIS, PROSYM, PROMODIII, WESPRIDE 등 여러가지가 있다. 현재, 한전에서는 연간발전계획 평가 등에 POWRSYM+를 활용하고 있는데, 이 모형은 시간대별 부하조건에서의 발전시물레이션을 통하여 발전계획 수립 및 시간대별 한계발전비용 계산 기능을 보유하고 있다.

POWRSYM+에서는 시간대별로 부하의 경계치에서의 증가/감소에 따른 발전비용의 변동분인 한계발전비용을 계산하는데 있어서 ① 매시간 별로 기준부하에 대해 계통운전비용을 계산하고, ② 부하의 증분/감소분에 의해 수정된 부하에 대한 계통의 운전비용을 계산하여, ③ 앞의 양 계산의 차이인 운전비용 증가/감소분을 부하의 증가/감소분으로 나누는 방법을 사용한다. 이러한 시간대별 한계발전비용 계산 논리는 다음의 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$MC_t = \frac{(SC_{t,RL} - SC_{t,VL})}{\Delta L_t} \quad [\text{원/kWh}] \quad (1)$$

여기에서,

MC_t : 시간별 계통의 한계발전비용(중분발전비용) [원/kWh]

$SC_{t,RL}$: 시간별 기준부하에서의 계통발전비용 [원]

$SC_{t,VL}$: 시간별 부하증가/감소시의 계통발전비용 [원]

ΔL_t : 부하 증가/감소를 위한 블록의 크기 [kW]

또한, 이러한 계산과정에서 발전기 기동정지 및 수력, 양수급전계획은 불변으로 처리하여 주어진 발전설비를 고정시키고, 블록의 크기만큼 변화된 부하에 대하여 다시 경제부하배분(ELD:Economic Load Dispatch)을 실시함으로써 발전비용을 계산한다.

2.3 한계발전비용 계산에 영향을 미치는 요소

시간대별 한계발전비용에 영향을 주는 것은 전력계통 운용과 관련된 제반 요소들로서 대단히 많다. 이러한 여러 요소 중에서 POWRSYM+ 운용과 관련된 주요 요소들을 나열하면 다음과 같다.

- ① 발전기 정비계획 : 실제 발전기 계획정비계획 또는 분산정비계획
- ② 순동예비력(Spinning Reserve)
- ③ 연료의 공급 및 목표연소율
- ④ 발전기 특성자료 : 출력증감발율(ramp rate), 최소정지 및 가동시간, 용량 및 출력수준
- ⑤ 양수발전소 운전방법(양수발전량을 미리 지정하거나, 경제적 최적운전 선택 여부)
- ⑥ 발전기 기동순위
- ⑦ 공급지장비용

3. 시간대별 한계발전비용의 계산

3.1 계산 전체

본 논문에서 제시한 시간대별 한계발전비용은 1994년을 대상으로 하여 계통운용상황을 발전비용 계산 전산모형인 POWRSYM+를 이용하여 시뮬레이션한 것이다. 시뮬레이션 과정에서 계통의 부하는 연간 시간대별로 예측한 자료를 사용하였으며, 발전기 정비계획의 취급은 모형에 의한 자동분산정비방식을 채택하였다. 화력발전소 연료비단가는 <Table 1>과 같이 적용하였다. 또한, 발전소별 연료공급계약조건의 적용은 LNG 및 국내산 무연탄을 사용하는 발전소에 대해 적용하였으며, 이들의 연료 혼소율에 있어서는 실제 계통운용실적을 반영하였다.

한편, 일반 화력발전소의 출력범위 및 발전기별 고장정지율은 계통주파수 조정기능 고려하여 결정하였으며, 양수발전소는 이용률이 약 20 % 수준이 되고 이 범위 내에서 발전량을 최적 할당하였다. 또한, 계통의 순동예비력은 가상의 침투설비법이라는 특수기법을 이용하여 실제 계통운용상황과 근접하도록 심야시간대와 주간시간대의 예비력을 적절히 배분하였다.

<Table 1> 발전원별 연료비단가

구분	원자력	역청탄	아역청	무연탄	BC유	LSWR	DO유	LNG
단위	원/kWh	원/Gcal	원/Gcal	원/Gcal	원/Gcal	원/Gcal	원/Gcal	원/Gcal
연료단가	3.45	5,792	7,327	9,859	8,332	9,866	17,148	16,050

3.2 시간대별 한계발전비용의 계산결과 및 특성

전력계통의 시간대별 한계발전비용은 부하곡선과 매우 유사한 경향을 나타낸다. 부하수준이 높은 09시경부터 21시까지는 한계발전비용도 높으며, 부하수준이 낮은 01시부터 08시까지는 주간시간대의 65 ~ 75% 수준에 불과하다. '94년도의 시간대별 부하 및 한계발전비용을 Fig. 1에 나타냈다.

계절별 부하의 형태는 여름철(하계)의 최대전력수요가 타계절에 비하여 높으며, 여름철의 경우에는 10 ~ 16시인 주간시간대에 최대부하가 발생하고, 겨울철에는 20시 근처인 야간에 최대부하가 발생하는 등 여름철과 겨울철의 전력수요 패턴이 많이 다르다. 계절별 한계발전비용은 발전기의 정비계획에 따라 큰 영향을 받는데, 자동분산계획에 의할 경우에는 하계 주간시간대가 타계에 비하여 약간 높으나 계절별 차이는 크지 않다.

근무일과 공휴일의 전력수요 형태 및 그 크기는 크게 다르다. 공휴일은 근무일에 비하여 전력수요의 수준이 낮고 형태가 크게 다르다. 시간대별 한계발전비용은 이러한 전력수요 형태와 매우 유사한 형태를 보인다. 근무일인 월요일 - 토요일 오전까지는 한계발전비용이 상대적으로 높은 반면에, 토요일 오후부터 낮아지기 시작하여 일요일의 경우에는 평일의 심야부하 수준으로 매우 낮아진다. 이러한 요일별 한계발전비용의 특성은 Fig. 2에 나타나 있다.

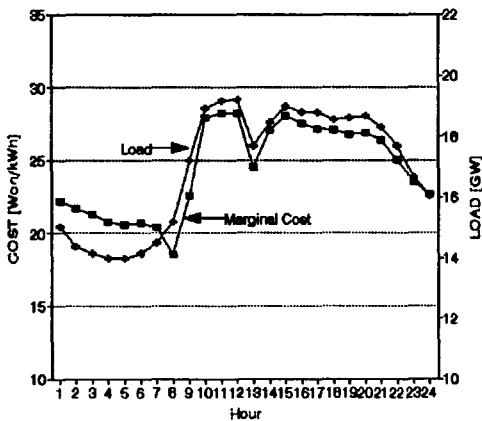


Fig. 1 시간대별 부하에 따른 한계발전비용

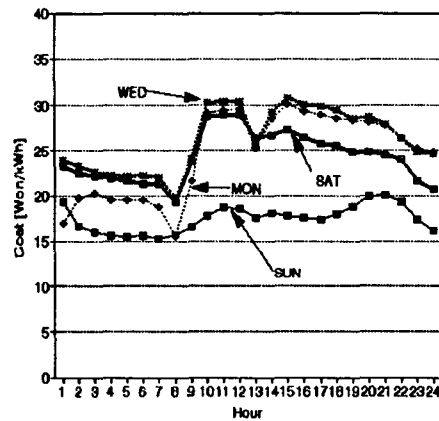


Fig. 2 요일별 한계발전비용의 특성

한편, 현행 계시별 전기요금제의 시간대구분에 따른 한계발전비용의 특성은 정리하면 <Table 2>와 같다.

<Table 2> 계시별 한계발전비용

구 분	하계 (여름철)			타계 (그밖의철)			비 고
	심 야	주 간	저 녀	심 야	주 간	저 녀	
1994년	19.8 (20.5)	27.4 (28.9)	26.4 (27.6)	21.7 (22.6)	26.7 (28.2)	26.3 (27.4)	- 송전단 기준(원/kWh) - ()은 일요일 제외시

위 표에 나타낸 바와 같이 시간대별 한계발전비용은 주간시간대가 가장 높고 다음이 저녁 시간대로서 주간시간대보다 약간 낮으며 심야시간대는 타시간대에 비하여 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 하계의 경우, 주간시간대와 심야시간대의 한계발전비용 차이가 타계에 비하여 크고, 일요일을 제외한 평일의 경우에는 주간시간대의 한계발전비용이 더욱 높아지며 시간대별간 차이도 다소 증가한다. 그러나 위 표에 나타낸 평일의 경우에도 추석, 설날 등 일요일이 아닌 공휴일이 포함되어 있으며, 이를 제외할 경우에는 평일의 경우에 한계발전비용이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

4. 시간대별 한계발전비용의 응용방안

전력공급 한계비용을 계산하는 것은 1차적으로 현재의 평균비용에 근거한 전기요금체계를 한계비용으로 개편하기 위한 것이다. 이러한 한계비용 요금체계의 적용은 전력사용량을 적절히 조절하고 발전설비 건설자본의 효율적 사용과 첨두부하를 만족시키는데 있어서 불필요한 투자를 방지하는 등, 자원의 효율적인 배분을 가져올 수 있다. 또한, 한계비용 요금체제는 전력판매요금 뿐 아니라 한전이 열병합발전소, 소수력 등의 민간회사로부터 구입하는 구입전력 요금에 있어서도 회피비용의 개념으로 동일하게 적용할 수 있다. 현재, 한계비용 요금체계를 확립하기 위한 노력이 다각적으로 수행중에 있으나 이에 대한 주요 장애요인으로서 전력공급 한계비용을 구체적으로 어떻게 계산하는가 이다.

여기에서 나타낸 시간대별 한계발전비용은 전력공급 한계비용의 주요 부분을 차지한다. 비록, 또 다른 주요 요소인 시간대별 한계설비비용에 대한 구체적인 계산논리 및 결과가 아직 확립되지는 못하였지만 본 계산결과 및 이의 특성을 이용하여 부분적으로나마 한계비용 요금체계를 도입할 수는 있다.

이 밖에도 시간대별 한계발전비용은 전기요금분야 이외에도 수요관리정책이나 양수발전소 운전계획 수립에도 활용할 수 있다. 특히, 수요관리 정책을 수립하는데 있어서는 수요관리에 소요되는 비용에 대한 이의 효과를 분석하는데 있어서 유용하게 활용할 수 있다.

5. 결론

전력계통의 시간대별 한계발전비용은 전력수요 패턴 및 발전설비 구성과 같은 전력계통의 고유특성 외에 전력계통의 운전방법, 연료가격 변동, 강수량 분포 등에 의해서도 상당한 범위의 변동이 발생된다. 일반적으로는 일부하곡선의 형태와 유사하여 주간시간대에 높고 심야시간대에는 낮으며 계절적으로도 하계가 높고 타계가 낮다. 요일별로는 부하수준이 높은 평일이 한계발전비용이 역시 높게 되며 부하수준이 낮은 일요일의 경우에는 평일의 심야시간대와 유사하다.

1994년의 경우에는 평일의 경우에 주간 및 저녁시간대에 있어서는 단위전력량(kWh) 당 약 27원 수준이며 심야시간대에는 20 ~ 21원 수준이다. 일요일을 제외한 평일의 경우에는 일요일을 포함하는 경우보다 주간이나 저녁시간대에 단위전력량 당 1 ~ 2원이 상승한다.

본 연구를 통하여 시간대별 한계발전비용에 대한 체계적인 계산방법이 정립되었으며, 계산 결과에 나타나는 우리 계통의 시간대별 한계발전의 특성은 앞으로 전기요금정책분야, 수요관리정책분야 및 양수발전소 운전 및 계획 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

參考文獻

1. M. Munasinghe, J.J. Warford, *Electricity Pricing : Theory and Case Studies*, World Bank, 1982
2. J. Vardi, B. Avi-Itzhak, *Electric Energy Generation : Economics, Reliability, and Rates*, MIT Press, 1981
3. *Electric Utility Rate Design Study, Costs and Rates Work Book Part I*, 1981
4. Cicchetti et. al., *The Marginal Cost and Pricing of Electricity: An Applied Approach*, National Science Foundation, 1976
5. *POWERSYM-PLUS Users' Manual*, Energy& Control Consultants Inc., July 1985
6. 시간대별 발전시물레이션을 통한 한계발전비용 계산에 관한 연구, 한국전력공사 전력경제처, 1993. 12