

전력수요측의 고효율기기 확산을 고려한 전원개발계획 비교실험

장승찬\*, 조형준\*\*, 김발호\*\*\*, 김정훈\*\*\*

\* 에너지관리공단 기술개발본부, \*\* (주)본텍 기술연구소, \*\*\* 홍익대학교 전자전기공학부

A Comparative Simulation on Generation Expansion Planning Considering the Diffusion of High Efficient End-Uses

Seungchan Chang\*, Hyung-Joon Cho\*\*, Balho Kim\*\*\*, Jung-Hoon Kim\*\*\*

\* KEMCO R&D Headquater, \*\* BONTEC ltd., \*\*\* Hong-Ik University

**Abstract** - This paper presents an experimental comparison between the conventional generation expansion planning and DSM incorporated one. As a DSM measure, diffusion of high efficient end-uses is considered and its impact will be targeted at the strategic energy conservation. A revised probabilistic production simulation is proposed by modifying the equivalent load duration curve (ELDC) with the capacity deconvolution of DSM end-use. To investigate long-term DSM impacts relative to the conventional planning, WASP model is applied and the effectiveness of DSM planning as an electricity resources is demonstrated.

1. 서 론

전력수요관리(DSM)의 목적은 최소의 비용으로 예측된 에너지 수요를 충족시키면서 부하형태를 바람직한 방향으로 개선하는데 있으며, 이를 통해 막대한 투자비용이 소요되는 전원개발계획의 대안으로서 검토되어 왔다. 즉, 에너지 이용 효율향상으로 수요 평준화 및 에너지 사용을 감소시켜 전원설비 투자규모 축소와 전력 공급비용을 절감하는 데 그 의의를 둘 수 있다. 이와 같은 전력수요관리는 올바른 영향평가를 토대로 채택, 시행되어야 하며 전력수요관리 영향평가에 대한 불확실성을 해소하기 위해서는 전기에너지 공급에 따른 복합적인 분석이 수반되어야 한다.

기존 본 논문의 선행연구 [3], [4]에서 제안된 전력수요관리의 영향평가 기법은 고효율기기의 수요확산이 이루어질 경우 절감될 수 있는 시간별 전력과 연간 에너지에 대해 추정함으로써 단순히 개별기기에서의 에너지 절약율을 고려한후 시장규모에 맞추어 절전잠재량을 추정하는 방법과 비교할 때 엄밀한 의미에서 보다는은 정량적인 전력수요관리 후보별 심사를 가능케 하였지만, 전력시스템의 계획관점에서 볼 때 전력수요관리 채택이 전기에너지의 공급에 나타나는 기여도를 정교하게 분석하기에는 다소 무리가 뒤따랐다.

본 논문에서는 장기 전원개발계획에서의 효과적인 전력수요관리 자원평가를 위해 기존에 제안한 고효율기기 수요확산에 따른 전력 및 에너지 추정과 전력수요관리를 포함한 전력시스템의 확률적 운전모형을 내재한 체계로 전원개발계획 모형을 구성하여 전통적인 발송배전 통합구조의 전력시스템에서 장기적인 전력수요관리 영향을 분석하였다. 사례연구에서는 효율개선을 통해 절약잠재량이 기대되는 전자식 안정기, 전자식 형광등, 고효율 유도전동기 그리고 전동기의 속도제어장치를 대상으로 한 선행연구 [2]~[4]에서의 전력수요관리 영향평가 결과를 이용하였다. 장기적인 전력수요관리 영향분석을 위해 널리 알려진 전원개발계획 모형인 WASP 패키지를 이용하였으며, 기존의 장기 전원개발계획과의 비교연

구를 수행, 전력수요관리 자원의 유효성을 평가하였다.

2. 고효율기기 확산에 따른 부하모델

2.1 고효율기기 수요확산 모델링

고효율기기의 수요가 확산됨에 따라 부하곡선의 변화를 예상할 수 있다. 즉, 고효율기기로서의 부하개신이므로 주로 부하곡선이 전체적으로 하향되는 형태인 전략적 소비절약(Strategic Conservation)의 전력수요관리 기법으로서 평가가 가능한데, 이러한 수요확산에 대한 모델링은 수요자(소비자) 사이에 제품이 확산되어 가는 과정을 분석함으로써 가능하다. 시장규모 예측을 통해 설정되어진 잠재시장  $m$ 에서 시간에 따라 제품이 소비자로부터 채택되어지는 확률  $(p, q)$ 을 추정하여 제품의 확산대수를 구하고 그 제품의 대표용량(Typical Capacity)으로 가중평균을 취하게 되면 우리가 관심대상으로 갖는 제품 즉, 고효율기기의 확산용량 계산이 가능하다. 따라서,  $\{s, s+1\}$  기간에서의 고효율기기의 수요확산  $N(s)$ 는 식(2.1)과 같이 표현할 수 있다.

$$N(s) = m \int_s^{s+1} \frac{p(b+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (2.1)$$

고효율기기의 수요확산에 따른 전력수요 추정을 위해서는 고효율기기의 확산용량으로부터 연간 에너지소비 즉, 전력량과 관심이 있는 시점의 전력 예를 들면, 최대 수요를 계산하는 절차가 필요하게 되는데, 계절적 요인 등에 의해 전체적인 부하구성비가 큰 변화가 없다고 가정하면 고효율기기로 채택가능한 부하에서의 연간 전력량은 식(2.2)와 같이, 전력수요는 식(2.3)으로서 각각 표현할 수 있다.

$$E_{RC,y} = RC_y \cdot RL \cdot A \quad (2.2)$$

단,  $RC_y$  : 고효율기기 채택가능 부하에서의 기존기기 보급용량,  $RL$  : 정격부하율,  $A$  : 연간 가동시간

$$P_{RC,s} = RC_s \cdot RL \cdot C \cdot D \quad (2.3)$$

단,  $C$  : 개별부하와 시스템부하 사이의 일치율,  $D$  : 개별부하와 시스템부하 사이의 부등율

2.2 전력시스템 계획에서의 부하표현

전력시스템 계획에서의 부하는 주로 부하지속곡선을 이용하여 표현되어지는데 시간별 부하곡선이 대시간내에서 크기순서에 의해 정렬된 것을 이른다. 이와 같은 표현에서의 잇점은 고려기간내에서의 전력 수급상태를 한눈에 알아볼 수 있기 때문인데 부하지속곡선을 전도하여 시간축을 확률로 표현하면 전력부하에 대해 시간여 무관한 일반화가 가능하게 되며 공급전원과의 상대적인 비교표현이 용이하기 때문에 전력시스템 계획에서는 이 전도된 부하지속곡선을 주로 이용한다. 전원투입에 따른

부하표현은 상승적분(Convolution)을 통해 식(2.4)와 같이 등가부하지속곡선(ELDC)으로 이루어진다.

$$f^{(i)}(x) = (1 - q_i) f^{(i-1)}(x) + q_i f^{(i-1)}(x - \bar{C}_i) \quad (2.4)$$

단,  $q_i$  : 전원  $i$ 의 고장정지율,  $C_i$  : 전원  $i$ 의 용량

### 3. 고효율기기 수요확산을 고려한 전원개발계획

#### 3.1 ELDC의 수정과 확률적 운전모형

고효율기기의 수요확산에 따라 절감된 부하는 식(3.1)과 같은 역상승적분(Deconvolution)을 이용하여 등가부하지속곡선에 반영할 수 있으며 이때 절감된 에너지는 식(3.2)와 같다.

$$f^{DSM}(x) = \frac{f^{(i)}(x) - (1 - a_{DSM}) f^{DSM}(x - DC)}{a_{DSM}} \quad (3.1)$$

단,  $a_{DSM}$  : 고효율기기의 가동율(Availability),

$DC$  : 고효율기기의 보급용량

$$E_{DSM} = T \cdot a_{DSM} \int_{x_i - DC}^{x_i} f^{DSM}(x) dx \quad (3.2)$$

전력시스템의 확률적 운전모형에서는 고효율기기의 수요확산에 따라 수정된 등가부하지속곡선을 충족하기 위해 경제적인 우선순위에 따라 순차적으로 발전기를 투입함으로써 각 발전기에서의 출력과 운전비용을 계산하며 발전기의 최종투입후 시스템 신뢰도(LOLP, UE)를 계산하게 된다.

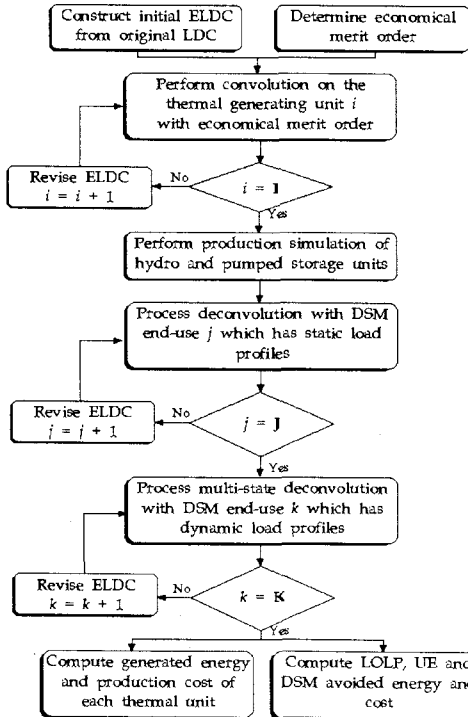


FIG 3.1 Flow chart of production simulation

#### 3.2 수요측 절약자원을 고려한 WASP 모형

동적계획법을 이용한 전원개발계획 모형인 WASP 모형에서는 계획기간에 걸쳐 예측된 수요, 주로 최대수요를 일정한 신뢰도기준 이내로 만족시키면서 계획기간 동안

안의 매년도 투자비 및 운전비 등에 대한 현재가치의 합을 최소로 하여 신규 투입용량을 결정하는 최적화를 수행하는 것으로서, 이 문제에서의 목적함수 또는 최적 대안을 결정하는 판단기준은 계획기간 동안 연도별로 최적화된 투자비 및 운전비의 현재가치 합이고, 제약조건은 연도별 건설 가능한 설비 범위 및 신뢰도기준이며, 결정해야 할 것은 발전원별 투입용량 및 그 시기이다.

이와 같은 기존의 전원계획모형에서는 3.1절에서 제안한 내용을 즉, 고효율기기의 수요가 확산되어 절감된 부하를 적절히 반영할 수 없으므로 기존 구성모형을 이용하기 위해서는 입력자료의 수정이 불가피하다. 본 논문에서는 수정된 ELDC를 연산하여 WASP의 6개의 모듈 중 부하를 다루는 LOADSY의 입력형태로 변환하였다. 먼저, 계획기간 전반에 걸친 예측수요에 대해 5차 다항식으로 표현된 분기별 부하지속곡선에서의 부하값을 계산하고, 식(3.1)으로부터 계산된 확률밀도함수값의 역변환을 취하여 고효율기기의 수요확산에 따른 변동부하값을 구한다. 이와 같이 수정된 분기별 2,190개의 부하값을 이용하여 고효율기기 수요확산에 따른 부하지속곡선을 새로이 구성할 수 있는데, 이를 5차 다항식으로 curve fitting하여 그 계수를 구한후 LOADSY에 입력하면 고효율기기의 수요확산에 따른 변동부하값을 전원개발계획에 반영할 수 있다.

### 4. 사례 연구

1995년 한국전력공사의 장기 전원개발계획을 기준으로 한 WASP 모형의 연산결과를 기본사례로 설정하고 1994년부터 고효율기기 수요확산이 이루어진 결과와 이에 대한 향후 예측값을 반영한 WASP 모형의 연산결과를 상호 비교하였다. 전원개발계획 유효기간은 양자 모두 15년으로 하였다. 선행연구에서의 수행결과로 제시한 고효율기기의 수요확산을 고려한 부하예측 결과를 요약하면 FIG 4.1과 같다.

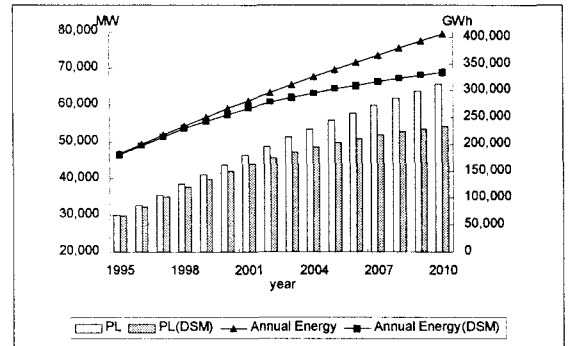


FIG 4.1 Peak loads and energy consumptions due to the diffusion of high-efficient end-uses

미래의 수요증가에 대처하기 위한 후보전원으로서는 LNG 복합화력, 석유, 유연탄, 가압경수로(PWR) 및 가압중수로(PHWR) 원자력을 대상으로 하였으며 후보전원에 대한 특성자료는 TABLE 4.1과 같다. 전원개발계획에서 수력 및 양수 발전기의 출력에너지는 부하지속곡선의 최대부하 영역을 담당하게끔 상수로 취급하는데, 연간 운전모형에서는 최종발전기 투입이후의 ELDC에서 미리 지정된 출력에너지만큼 보정하여 타 발전기의 출력을 연산하게 된다. 계획 초기단계에서의 수력 및 양수발전은 제외한 전원구성은 TABLE 4.2와 같으며 원자력, LNG CC, 유연탄 화력, 석유 화력 순으로 구성비를 점유하고 있다.

TABLE 4.1 Major technical and economical data of candidate plants

Type	MW	FOR (%)	SM (day)	Gen. Cost (₩/kWh)	MFOM (Thou.₩ /kWh)	CC (Thou.₩ /kW)
LNG CC	450	6.0	45	30.5	1.38	505
Oil	500	6.0	41	20.9	1.80	800
Coal-I	500	7.0	45	11.8	3.36	1,017
Coal-II	800	9.0	52	11.7	2.72	920
PWR-I	1,000	6.5	60	3.2	3.95	1,517
PWR-II	1,300	8.5	66	3.2	3.46	1,346
PHWR	700	5.5	39	1.9	5.22	1,607

\* SM : Scheduled Maintenance, MFOM : Monthly Fixed O&M Cost, CC : Construction Cost

TABLE 4.2 Existing facilities in the initial stage of planning

Type	LNG CC	Oil	Coal (Ant.)	Coal (Bit.)	Nuclear (PWR)	Total
No. of Units	15	50	9	12	9	95
MW	7,072	5,584	1,020	6,300	8,616	28,592

FIG 4.2 및 4.3은 전원개발계획 결과를 전원구성관점에서 살펴본 것으로서 중유, 석탄(무연탄)에 대해서는 구성비율이 점차 감소하고, 석탄(유연탄)에 대한 전원구성에 대한 비율의 증가하는 것이 특징임을 알 수 있다.

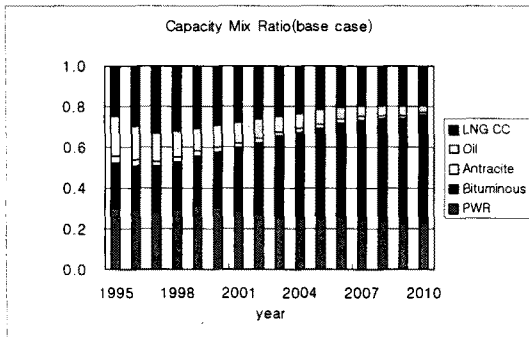


FIG 4.2 Total capacity mix including new added plants(base case)

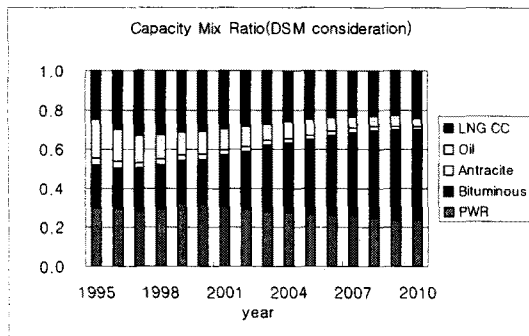


FIG 4.3 Total capacity mix considering DSM resources

기본사례에서는 신규전원으로서, 석탄화력, 원자력,

LNG CC 순으로 건설용량이 필요하였으나, 고효율기기의 수요확산을 고려한 전원개발계획에서는 석탄화력과 LNG CC의 일부만 필요하고 원자력은 건설하지 않는 것이 최적으로 나타났다. FIG 4.4는 고효율기기의 수요확산 유무에 따른 신규 건설용량을 비교한 것이며, FIG 4.5는 고효율기기의 수요확산에 따른 전원개발계획에서의 총회피비용을 나타내고 있다.

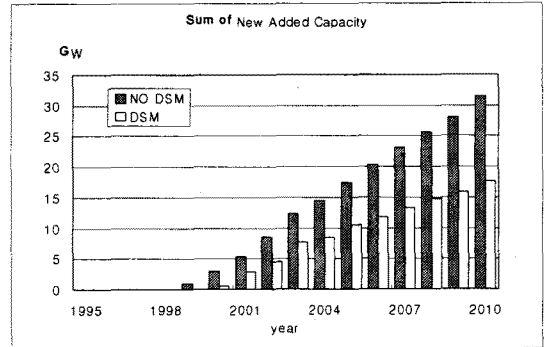


FIG 4.4 Comparison of cumulatively added capacity

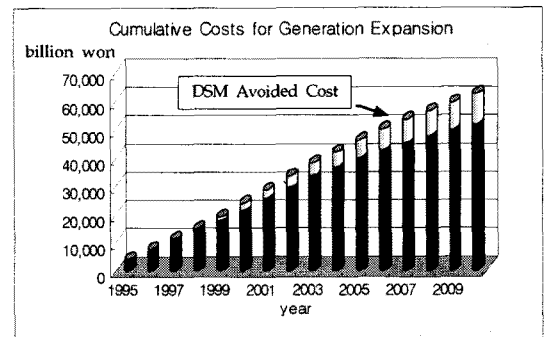


FIG 4.5 Cumulative total costs required for generation expansion

## 5. 결 론

본 논문은 전력수요관리중 고효율기기의 수요확산에 대해 전원개발계획측면에서의 영향분석을 검토하였다. 고효율기기의 수요확산은 전원개발계획에서 환경 등의 외부 변수없이 비용관점에서만 보더라도 경제성이 있는 것으로 나타났으며 국가적 관점에서 보다 체계적인 전력수요관리를 향한 사업추진이 필요하다고 사료된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김정훈, 장승찬 외 3인, "규제완화된 전력시스템의 전원개발계획 방법론 고찰", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1101~1103, 1999
- [2] 김정훈, 장승찬 외 3인, "DSM 기기의 보급확산에 따른 전력시스템 공급신뢰도의 영향분석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 239~241, 1998
- [3] 김정훈, 장승찬 외 2인, "DSM 모니터링시스템을 이용한 고효율 유도전동기의 보급확산 추정 및 자료집체계 설계에 관한 연구", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 141~143, 1998
- [4] 김정훈, 장승찬 외 3인, "DSM Monitoring을 위한 수리모형 개발에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 764~766, 1997
- [5] 김정훈, 장승찬 외 2인, "국가적 관점에서 본 전력수요관리 심사모델에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 781~783, 1996