

電源開發計劃에서의 費用最小化와 發電原價

정도영, 박경서, 박종배  
한국전력공사, 전력경제연구소

Least Cost Generation Expansion Planning Methodology and Generation Cost

Do-Young Chung · Kyung-Suh Park · Jong-Bai Park  
Korea Electric Power Corporation, Electricity Economics Department

Abstract - This paper introduces the concept of the generation cost of generating utilities and its calculation methods. Also, the economic evaluation method using generation cost which is called as a screening curve method will be presented along with the benefits and disadvantages of this concept. Next, the least-cost electric utility planning techniques which is used very widely in many countries will be introduced in comparison with screening curve method. In this aspects, the optimal dynamic mix can be determined as a result. By comparing these two concepts, we will get the concrete concept why the economic evaluation method using generation cost can not be used for the future generation expansion planning.

1. 서론

전력사업은 막대한 자금이 소요되는 설비사업으로 특히 발전 조건 및 운영에 많은 비용을 필요로 한다. 따라서 적정 공급 신뢰도 수준을 유지하면서 최소의 비용으로 전력수요를 충족시키기 위한 전원개발계획 수립은 전력사업에 있어 매우 중요한 부분이다. 전력설비 투자문제는 대부분 발전원가와 관련되어 논의되고 있지만 실제로 전원개발계획에 있어 발전원가가 어떤 역할을 하는지 정확하게 이해하고 있는 경우는 드물다. 전력사업의 경제성에 대한 접근은 발전원가의 개념 및 배경에 대한 올바른 이해를 토대로 하여 장기 전원개발계획 문제로 접근하는 것이 바람직하다.

이 논문에서는 전원개발계획 수립에 있어 발전원가의 의미를 확실하게 하기 위하여 발전원가의 정의와 산정방법, 발전원가를 이용한 발전원별 경제성 분석 방법 및 이의 장단점을 소개하고자 한다.

또한, 최소비용 전원개발계획 문제의 정의, 전원개발계획의 수립과정을 설명하고, 현재 우리나라에서 주로 사용하고 있는 최적 전원개발계획안을 찾는 방법론에 대하여 설명한다. 이렇게 함으로써 최소비용 전원개발계획 문제와 발전원가사이의 구분은 명확하게 할 수 있을 것이다.

2. 발전원가의 정의와 분류

발전원가란 1 Kwh의 전력을 생산하는데 드는 비용(원/kwh)을 말한다. 이는 크게 고정비 부분과 변동비 부분으로 구성된다. 고정비는 발전량에 관계없이 연간 고정적으로 소요되는 비용을

말하며 건설비 고정부담본(감가상각비, 자본비), 세급 및 보험료, 고정 운전유지비 등으로 구성된다. 특히, 건설비 고정부담본은 감가상각, 투자수익(자본비) 등을 포함한다. 고정비용은 발전량이 증가함에 따라(이용률이 높아짐에 따라) 총비용은 변동하지 않지만 발전원가는 낮아진다. 또한 변동비는 연료비, 변동 운전유지비 등과 같이 발전량에 따라 변화하는 비용을 말한다.

발전원가는 통상 실적 발전원가와 균등화 발전원가로 분류된다. 실적 발전원가는 실 운전자료를 근거로 당해년도에 투입된 총비용을 당해년도의 발전량으로 나누어 구한 값이다. 이는 발전기의 보수, 고장정지 및 발전량의 실적치를 토대로 계산하므로 주로 회계분석 또는 실적을 평가하기 위한 자료로만 이용된다. 또한, 실적 발전원가는 특정년도의 설비의 이용률 및 감가상각방법 등에 의하여 매년 변화하고 든의 시간적 가치를 고려하지 않는다.

단위 : 원/kwh

구분	1990년			1991년		
	연료비	고정비	발전원가	연료비	고정비	발전원가
석탄	18.18	10.76	30.95	18.0	11.5	30.79
중유	23.67	12.60	37.88	19.65	7.47	27.84
원자력	3.8	16.32	23.75	3.55	16.7	22.62

(표 1) 원별 발전원가 (91년 경영통계, 한국전력공사)

위표에서 보면 1991년의 중유설비의 실적발전원가가 1990년과 비교하여 약 10원 정도 감소하였는데 이는 이용률의 증가(90년:40.1%, 91년:61.9%)로 인하여 고정비 부분이 상대적으로 낮게 평가되었으며 방카 C유의 가격하락 때문이다. 이 때문에 중유설비가 석탄설비보다 경제성이 있는 설비라 말할 수 없다. 실적발전원가를 설비의 경제성 평가에 사용할 수 없는 이유를 요약해 보면 다음과 같다.

- 실적 발전원가는 과거의 건설비와 연료비를 기초로 하므로 미래에 발생할 비용을 적절히 반영하지 못한다.
- 회계적 수치인 실적발전원가와 설비의 경제성 평가에 사용되는 수치는 개념적으로 차이가 있다. 예를 들면, 회계적 감가상각기간과 설비의 수명기간은 다를 수 있으며 이 경우 감가상각이 끝난 운전중인 설비가 있다면 이 설비의 실적발전원가는 매우 낮아져 경제성 평가에 왜곡을 가져온다.
- 실적 발전원가는 과거의 특정 이용률에 근거하나, 이는 설비의 규모 및 부하의 형태 등을 고정하여 산출하는 것이므로 설비 및 부하의 형태가 매년 변화하는 동적상황에서는 사용하기 어렵다.

3. 균등화 발전원가 산정방법 및 경제성 평가 방법

균등화 발전원가는 발전소의 수명기간 동안의 년도별 총비용과 발전량을 각각 현재가치화하여 1Kwh를 생산하는 데 드는 비용을 구한 것이다. 여기서는 한전에서 사용하는 균등화 발전원가 산정방법을 소개하고자 한다.

발전원가 = 고정비원가

· 변동비원가

$$\frac{\text{건설단가(원/Kw)} \times \text{고정비율}}{8760 \times \text{利用率} \times (1 - \text{소노소비율})} + \frac{\text{연소비율(Kcal/Kwh)} \times \text{연료비단가}}{\text{발열량(Kcal/Kg)} \times (1 - \text{소노소비율})}$$

여기서 연료비 이외의 모든 비용은 고정비로 취급되며, 이 비용은 건설단가의 일정한 비율(고정비율)로 취급하여 계산한다. 즉, 고정비율은 연간 자본회수비용(감가상각비, 자본비), 제세급, 보험료, 철거비, 운전유지비 등을 초기 건설비용으로 나눈 값을 의미한다.

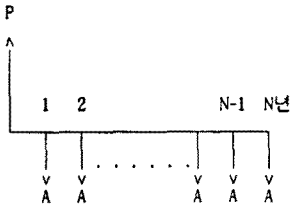
(단위: %)

項目	電 源 別		內 燃 力	水 力	原 子 力
	石 油	石 炭			
資本費	5.37	5.37	5.01	6.17	5.37
減價償却	4.00	4.00	6.67	2.00	4.00
法人稅 및 雜稅	1.16	0.16	0.15	0.15	0.15
保險料	0.29	0.29	0.30	0.30	0.35
雜費	-	-	-	-	0.10
小計	9.82	9.82	12.13	8.52	9.97
運轉維持費	2.13	3.36	1.31	1.09	1.84
固定費率	11.95	13.18	13.44	9.65	11.81
耐用年數(年)	25	25	15	50	25

(표 2) 각 원별 고정비율 예

3.1 자본비와 감가상각비(자본회수계수)

자본회수계수란 사업초기에 투자된 자본을 설비의 수명기간 동안 매년 일정금액으로 수령기간동안 회수할 때 초기투자비와 매년회수액의 비율을 말한다. 예를 들면, 어떤 발전설비의 초기 총투자비용(건설비)이 P 이고, 이를 회수하기 위해서 수명기간 N 년동안 매년 A 씩 걸어 들인다고 하면,



$$P(1+i)^N = A(1+i)^{N-1} + A(1+i)^{N-2} + \dots + A(1+i) + A \quad \text{---(1)}$$

$$P i (1+i)^N = A \{ (1+i)^N - 1 \} \quad \text{----(2)}$$

자본회수계수는 아래와 정의된다.

$$A/P = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad \text{-----(3)}$$

적정할인율과 각 설비의 내용연수가 주어지면 각 설비별 자본회수계수는 쉽게 구할 수 있다. 이 자본회수계수는 초기투자비용을 회수하는 부분과 년간투자수익의 부분으로 구성되어 있다. 전자는 초기투자비 회수를 위한 것으로 감가상각비율이라고 하고, 후자는 초기투자금액의 이자 또는 수익을 회수하기 위한 것으로 자본비라 한다.

기타 고정비율에 포함되는 항목중 보험료의 고정비율은 초기 건설비에 대한 보험료의 비율을 구하면 되고, 운전유지비용도 동일한 방법으로 구해진다.

이상에서 살펴본 바와 같이 발전원가는 여러가지 요소에 의하여 달라질 수 있으므로 경제성 평가시에는 많은 주의를 요한다. 이를 요약해 보면 발전원가는 다음과 같이 여러 요소들의 함수로 표시될 수 있다.

$$\text{발전원가} = f(\text{이용률, 할인율, 설비내용연수, 감가상각 방법, 연료비단가}) \quad \text{---(4)}$$

3.2 전원별, 이용률별 발전단가

위의 발전원가 계산식을 이용하면 각 전원형식의 이용률별 발전단가를 구할 수 있으며, 또한 각 이용률에서 최소비용이 드는 전원형식을 쉽게 결정할 수 있다. 아래에서는 샘플데이터를 이용하여 이를 시산해 보았다.

電源別 利用率	G/T 50	복합300	석유500	유연탄500	원자력900
3%	172.5	227.0	265.3	379.5	535.2
10%	82.5	84.8	91.4	122.2	164.2
15%	69.6	64.5	66.5	85.5	111.2
20%	63.2	54.4	54.1	67.1	84.7
30%	56.7	44.2	41.7	48.7	58.2
40%	53.5	39.2	35.5	39.5	45.0
50%	51.6	36.1	31.7	34.0	37.0
60%	50.3	34.1	29.3	30.3	31.7
70%	49.4	32.6	27.5	27.7	27.9
80%	48.7	31.5	26.1	25.7	25.1
90%	48.2	30.7	25.1	24.2	22.9
100%	47.7	30.0	24.3	23.0	21.1

(표 3) 각 전원형식의 이용률별 발전단가 및 최적운전범위

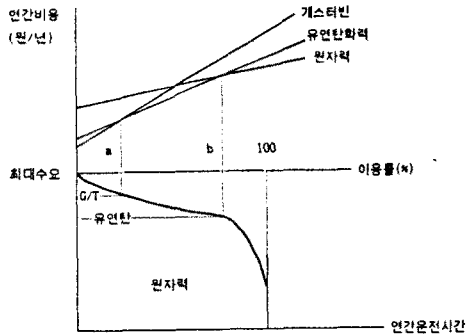
구 분	G/T 50	복합300	석유500	유연탄500	원자력 900
건설단가 \$/KW	323	510	684	928	1,474
고정비율 %	14.95	14.95	13.64	14.87	13.50
연소비율 (원/Wh)	3,071 (28%)	2,389 (36%)	2,098 (41%)	2,150 (40%)	2,498 (34.4%)
연료비 (C/MKcal)	128.87W/L (2.041)	159,800 (1.756)	77.24 W/L (1.118)	48.775/톤 (7.45)	7.45 (280)

\* 재한 자료는 실험을 위한 자료임 (할인율 10% 적용)  
(표 4) 발전원가 계산을 위한 입력자료

위에서 본 바와 같이 발전원가를 이용하면 각 전원설비의 경제적 운영범위를 쉽게 결정할 수 있다. 이와 비슷한 방법으로 매년의 고정비율과 연료비의 합계가 최소가 되는 발전원별 최적 운영범위를 결정하는 Screening Curve법이 있다.

3.3 이용률에 따른 발전원별 경제성 평가방법 (Screening Curve Method)

이용률에 따라 연간 발전비용(고정비용+운전비용)이 변화하는 것을 이용하여 발전원별로 경제적인 운전범위를 결정하는 방법을 Screening Curve 법이라 한다. 이 방법은 고정된 한 부하속극선하에서 연간고정비 및 운전비의 합이 최소가 되는 설비별 운전범위를 결정하여 정태적 최적 전원구성을 구하는 방법이다.



\* 응축과 만나는 점 : 연간고정비용  
직선의 기울기 : 운전비(원/KWh)  
(그림 1) Screening Curve 법

여기서 보면 이용률이 0-a 일 때는 G/T가 유리하고, a-b 일 때는 유연탄이 유리하고, b 이상일 때 원자력이 유리하다.

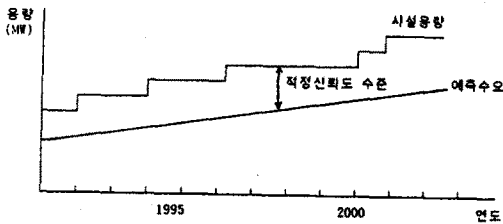
이 Screening Curve법과 발전원가를 이용한 방법은 직관적으로 이해하기 쉽고, 또한 계산이 간단하며 이용률이 주어지면 어떤 형식의 발전소가 유리한가를 개략적으로 판단할 수 있는 장점이 있으나 아래와 같은 이유에서 전원개발계획에 활용되기 는 어렵다.

- 설비의 보수정지 및 고장정지를 고려하지 못하다.
- 최대전력, 부하지속곡선의 형태, 발전설비 구성이 매년 같을 때를 가정한 것이므로 이를 매년 변화하는 상황에 사용하기 어렵다.
- Screening Curve법을 이용하면 특정 이용률에서 경제적인 발전원을 찾을 수 있으나 발전소 건설 시기, 용량 및 필요예비력 등에 관한 정보를 제공하지 못한다.
- 이용률이 주어진 경우 균등화 발전원가 비고를 이용하여 유리한 발전원을 찾을 수는 있으나 이용률을 가정함에 무리가 있다. 즉, 부하 및 발전설비 구성에 따라 발전원별 이용률은 달라지며, 따라서 매년 변화하는 부하형태를 고려하기 위해서는 시뮬레이션이 필요하다.

#### 4. 비용최소화 전원개발계획

##### 4.1 전원개발계획의 정의

전원개발계획은 통상 15-20년의 계획기간 동안에 예측된 전력수요를 적정신뢰도 범위내에서 만족시키면서 최소 현재비용(운전비+투자비)이 소모되는 년도별 발전형식, 용량, 시기 등을 결정하는 것이다. 즉, 전원개발계획은 특정 년도의 설비별 경제적 운용범위나 최소비용의 발전설비 조합을 구하는 것이 아니라, 계획기간 전체동안 비용이 최소가 되는 년도별 발전설비의 조합을 구하는 것이다. 일반적으로 침투부하를 담당하는 발전기는 운전비는 비쌀지라도 건설비가 싸고 부하특성이 좋은 것이 경제성이 있으며, 기저부하를 담당하는 발전기는 건설비는 비싸지만 운전비가 싼 것이 유리하다. 따라서 매년 부하형태는 변화하므로 이에 따라 최적 설비구성(Optimal Plant Mix)도 또한 매년 달라진다.



(그림 2) 전원개발계획의 수립

이러한 최소비용 전원개발계획의 결과로 매년도의 발전기 구성비(Plant Mix)는 결정된다. 이러한 것을 발전원가에 의한 설비구성(정태적 최적 전원구성)과 구분하여 동태적 최적 전원구성(Dynamic Optimal Mix)이라 한다.

양 수	양 수	양 수
G/T	G/T	G/T
OIL	OIL	OIL
유연탄	유연탄	유연탄
원자력	원자력	원자력
1993년	1994년	1995년

(그림 3) 동태적 최적전원구성

이러한 최소비용 전원개발계획의 입력자료로는 수요예측 자료(계획기간 동안의 연간 최대전력, 부하율, 최소전력), 기술적 입력자료(전원별 열효율, 고장정지율, 보수일수 등), 경제적 입력자료(전원별 건설비, 연료비, 운전유지비 등), 정책적 자료(할인율, 공급신뢰도 기준) 등이 있다. 여기서 한가지 주의하여야 할 것은 전원개발계획 전산모형은 위의 입력자료를 기준으로 한 최소비용 전원개발계획안을 구한다는 것이다. 즉, 부적절한 입력자료는 왜곡된 형태의 최적안을 구할 수 있다는 것이다. 따라서 전원개발계획시에는 상기 입력자료(기술적 자료, 경제적 자료)의 정확한 값이 필수적이고, 이를 정하기 어려운 정책적 입력자료 및 수요예측치에 대해서는 민감도 분석 등을 통하여 이러한 문제점을 최대한 극복하도록 하여야 한다.

이와 같은 전원개발계획 문제는 다음과 같은 수학적 최적화 모형으로 표시될 수 있다.

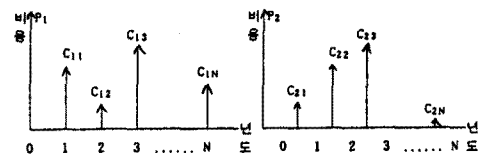
$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{t=1}^N F(U_t, O_t) \quad \text{----- (5)} \\ & U_1, \dots, U_N \\ & \text{Subject to } X_{t-1} = X_t + U_t \\ & \text{LOLP}(X_t) \leq \alpha \end{aligned}$$

- 여기서 F : 현재확된 건설비와 운전비의 합
- $U_t$  : t연도에 투입되는 전원의 형식 및 용량 벡터
- $O_t$  : t연도에 소모된 운전비 벡터
- $X_t$  : t연도의 전원별 누적 용량 벡터
- LOLP : t연도의 공급지장시간
- $\alpha$  : 공급신뢰도 기준
- N : 전원개발계획 고려대상 기간.

여기서 전원개발계획안은 년도별로 많은 설비대안이 있으나, 이 가운데 최소현재비용이 소모되는 대안이 최적 투자계획안이다. 이러한 최적해를 찾기 위한 방법은 많이 있으나 현재 한전에서 사용하고 있는 WASP 전산모형은 동적계획법을 이용한다.

또한, 년도별 비용의 현재가치는 적정 할인율을 이용하면 된다. 예를 들어, 아래의 두 대안 모두 일정 신뢰도 기준을 만족하는 안이라 가정하면, 이 두 대안의 현재가치는 식 6과 같이 구해지고 이 두대안 가운데 보다 경제적인 안은 현재비용이 적은 안이다.

$$P_1 = \sum_{i=1}^N C_{1i}(1+r)^{-i} \quad P_2 = \sum_{i=1}^N C_{2i}(1+r)^{-i} \quad \text{---- (6)}$$

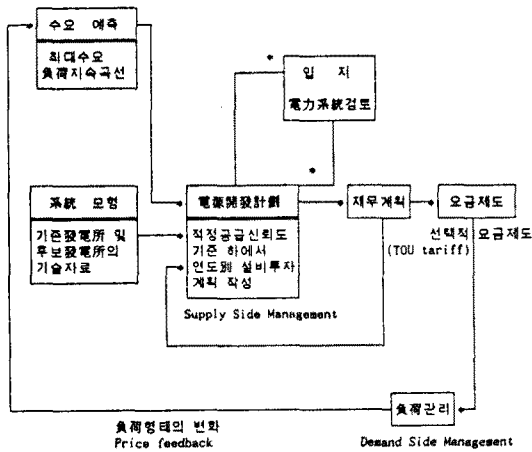


(그림 4) 서로 다른 Cash Flow에 대한 현재비교

$P_1 > P_2$  라면 2안이 1안보다 경제적인 대안이다.

#### 4.2 전원개발계획수립절차

앞에서 설명한 비용최소화에 의한 전원개발계획 수립방법과 각종 입력자료에 의하여 가장 경제적인 대안이 수립되는데, 이 안은 비록 경제적으로는 가장 우수한 대안일 지라도 자금조달 가능 여부, 입지확보 가능 여부, 전력요급에 미치는 영향 등 다른 제반 조건을 만족하는지를 검토 검토하여야 한다. 이러한 과정을 거쳐 제반 여건에 만족하는 안이 최종적으로 전원개발계획으로 확정되어 시행되게 된다.



(그림 5) 電源開發計劃 關係圖

## 5. 결론

이상과 같이 전원개발계획수립에 있어서의 발전인가가 갖는 의미와 전원개발계획 수립방법을 개괄적으로 살펴보았다. 본고를 통하여 발전인가는 회계적 자료로나 운전실적 평가 및 대략적인 설비의 경제성 평가에는 사용될 수 있으나 최소비용 전원개발계획 방법과 직접적인 관련이 없다는 것을 알 수 있다. 즉, 최적 전원개발계획안을 수립하기 위해서는 비용최소화를 통한 등적 계획수립이 필수적임을 알 수 있다.

현재의 전력사업은 수요성장의 불확실성, 환경문제, 입지문제, 재원확보문제, 국민적 합의 등 여러가지 문제를 안고 있으며, 이러한 주위환경은 더욱 복잡하게 될 것으로 전망된다.

따라서, 향후 전원개발계획은 비용최소화 방법과 더불어 수요성장 불확실성에 대처하기 위한 전원개발의 유연성 확보, 기타 제반 문제에 대응하기 위한 전략적 방법이 병행되는 방향으로 나아가야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 한국전력공사 기술연구원, 「발전인가 산정기법 해설」, 1990.12
2. 한국전력공사 기술연구원, 「전원개발계획 설명자료」, 1990.5
3. 한국전력공사 기술연구원, 「최적 전원개발계획 모형연구」, 1984.12
4. 한국전력공사 경영정보처, 「경영통계」, 1992
5. 千住 領雄, 伏見多英雄, 「經濟性工學の應用」, 日本能率協會, 1987
6. Edwin Vernnard, 「Management of the Electric Energy Business」, McGraw Hill, 1979
7. IAEA, 「Expansion Planning for Electrical Generating Systems」, 1984