

電力事業의 發電原價

김 영 창

한국전력공사 전력경제처 투자분석부장

1. 序論

發電原價에는 한 회계기간 동안 전력계통을 운영할 경우에, 발생하는 총비용을 총발전량으로 나누었을 때 나타나는 實績 發電原價와 미래의 한 기간에 대하여 적정 설비후보를 결정할 때 사용하는 發電原價가 있다. 實績 發電原價는 회계원가이므로 經濟性 評價를 할 때에는 직접 활용할 수가 없다. 따라서, 여기에서는 전력설비의 經濟性 評價 및 대안의 비교에 활용되는 發電原價의 개념과 그 구체적 적용방법에 대하여 언급하기로 한다.

일반적으로 發電原價는 미래의 한 연도에 대하여, 발전설비 사이의 經濟性 評價를 하기 위해서 활용된다. 發電原價를 이용하여 경제성을 평가할 때에는, 각 후보 발전기들의 발전비용만을 대상으로 하면 된다. 즉, 전력계통에 속해 있는 기존 발전기들의 비용 및 미래에 투입될 발전기들의 비용은 고려할 필요가 없다. 이는 후보 발전기의 이용률이 이미 고정되어 있기 때문이다. 일반적으로 다음과 같은 두 가지 경우에 發電原價를 이용한 經濟性 評價를 하고 있다.

첫번째로 미래의 한 연도에 대하여 계통비용 분석을 한 후, 즉 투입될 발전기의 형식 및 용량 등이 개략적으로 결정된 이후에 구체적으로 발전기의 판매자를 설정할 경우에 發電原價를 이용하는 경우이다. 예를 들어, 다음 연도에 유연탄 설비가

투입된다고 가정하였을 때, 각 발전기 후보별로 증기조건, 운전조건, 주요부품의 사양 등을 고려하여 發電原價를 계산하여 적정한 대안을 결정한다. 물론 이 때의 주요 고려대상 비용은 건설비 및 운전비이다. 여기서 한 가지 유의할 점은 發電原價의 상호비교를 통한 經濟性 評價를 할 때에는 발전기의 기술적 특징 및 계통에 미치는 영향도가 비슷한 부류끼리 비교해야 한다는 것이다.

두번째 경우는, 비교대상인 발전기의 운전형태가 다양한 경우이다. 이 때에는 審査曲線法(Screening Curve Method)을 주로 이용하고 있다. 審査曲線法이란 이용률에 따라 연간 발전비용(고정비용 및 운전비용)이 변화하는 성질을 이용하여 發電源별로 경제적인 운전범위를 결정하는 방법을 말한다. 그러나 이러한 방법은 전원개발계획 문제에 내재되어 있는 동태적 성격을 고려할 수 없기 때문에 意思決定에 직접 활용하기보다는 發電原價의 개념 설명이나 發電源別 사이의 비용 관계 및 설비구성의 변화 등을 설명하는데 주로 이용되고 있다.

이 부록에서는 發電原價의 구성요소, 종류 및 그 구체적 계산방법 등에 관하여 설명하고 발전설비의 經濟性 評價에 어떻게 활용되고 적용되는가에 대하여 설명하였다. 마지막 부분에서는 發電原價와 전원개발계획 문제사이의 관계를 구체적으로 설명하였다.

2. 發電原價의 定義 및 構成 要素

發電原價란 발전소에서 생산된 전력이 송전계통에 연결되는 지점(Bus-bar)에서의 kWh당 발전비용을 의미한다. 發電原價는 운전중인 발전소의 발전실적을 이용하여 회계적 實績 發電原價를 계산하는데 이용되거나 또는 미래의 한 연도에 새로운 발전설비를 건설할 때 주어진 이용률에서 어떤 發電源이 유리한가를 평가할 때 이용된다. 또한 판매원가란 전력이 수용가에 공급될 때까지 소요되는 비용을 판매전력량으로 나눈 것으로서, 전력을 수용가에게 공급하기 위하여 투입한 비용을 회수하는 차원에서 즉 전력요금을 산정할 때 사용된다.

발전비용은 발전소를 건설하고 이를 수명기간 동안에 운영하여 전력을 생산하는데 소요되는 총비용을 말하며 發電原價는 단위전력량[kWh]을 생산할 때 소요되는 비용을 의미한다.

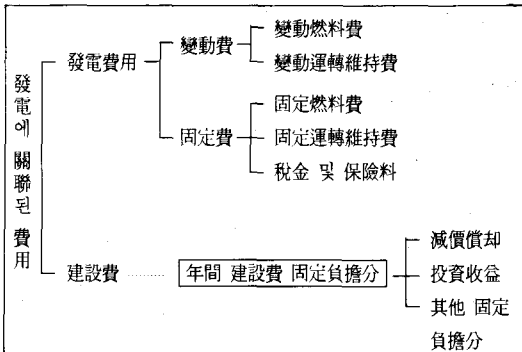
가. 發電原價의 구성 요소

일반적으로 發電原價는 발전소 부지 매입을 포함한 건설비, 연료비, 운전유지비, 폐기물 저장 및 처리비, 발전소 폐지비용 등으로 구성된다. 發電原價는 크게 고정비와 변동비 부분으로 구성되는데 그림 A-1에는 이들 비용요소들이 개략적으로 설

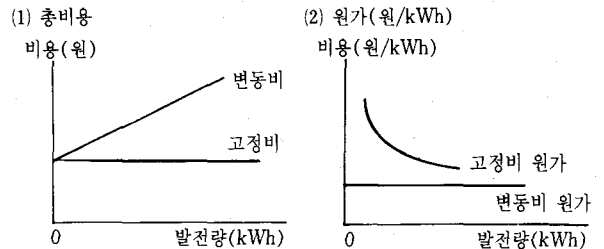
명되어 있다. 그림 A-1에서 보는 바와 같이 연료비 및 운전유지비는 고정비 요소와 변동비 요소로 분류된다. 점선은 건설비 고정부담분(Fixed Investment Charges)이 건설비(Capital Investment Cost)의 함수임을 의미한다. 그림 A-1에 분류되어 있는 각 항목별 비용의 수준은 발전소의 형식에 따라 현저히 달라진다. 예를 들면 원자력 설비는 타 형식의 발전설비에 비해 건설비가 높은 반면, 연료비가 낮으며 수력설비인 경우에는 연료비를 무시해도 된다.

일반적으로 고정비라 함은, 보일러나 원자로, 또는 터빈/발전기 등과 같이 장기간에 걸쳐 이용되는, 고정설비와 관련된 비용을 의미하며, 발전소에서 생산되는 발전량에 비례하지 않는 부분을 말한다. 그림 A-2에는 발전시간에 따른, 즉 발전량의 변화에 따른 변동비, 고정비 등의 변화를 보여준다.

고정비 가운데 연간 건설비 고정부담분은 발전소의 준공시점에서 본 투자비와 등가인 수명기간 중의 연금(Annuity, 즉 Depreciation과 Cost of Money의 합계), 가격립금이나 페로기금(원자력 설비의 경우) 등으로 구성된다. 또한, 운전유지비, 세금, 보험료 등을 포함한 비용을 준공시점에서 본 건설비로 나눈 것을 고정비용(Fixed Charge Rate)이라 한다. 年度別 건설비 고정부담분(Annual Fixed Investment Charges)은 고정비용(Fixed Charge Rate)과 건설비를 이용하여 계산할 수 있다. 세금과 보험료가 없는 경우에는 年金(Annuity)의 건설비에 대한 비율이 연간 고정비



<그림 A-1> 發電原價의 구성요소



<그림 A-2> 발전량과 發電原價의 관계

율이 된다. 고정 운전유지비(Fixed O & M Cost)의 대표적인 예로는 인건비가 있으며, 고정연료비(Fixed Fuel Cost)의 예로는 연료저장(석탄 등)에 소요되는 비용이 있다.

변동비는 비교적 단기간(보통 1년 이내)에 걸쳐 소요되는 재화 및 서비스에 관련된 費用을 말한다. 發電原價 가운데 변동비는 일반적으로 발전량(kWh)에 따라 변화하며, 대개 변동 연료비(Variable Fuel Cost) 및 변동 운전유지비(Variable O/M Cost)로 구성된다.

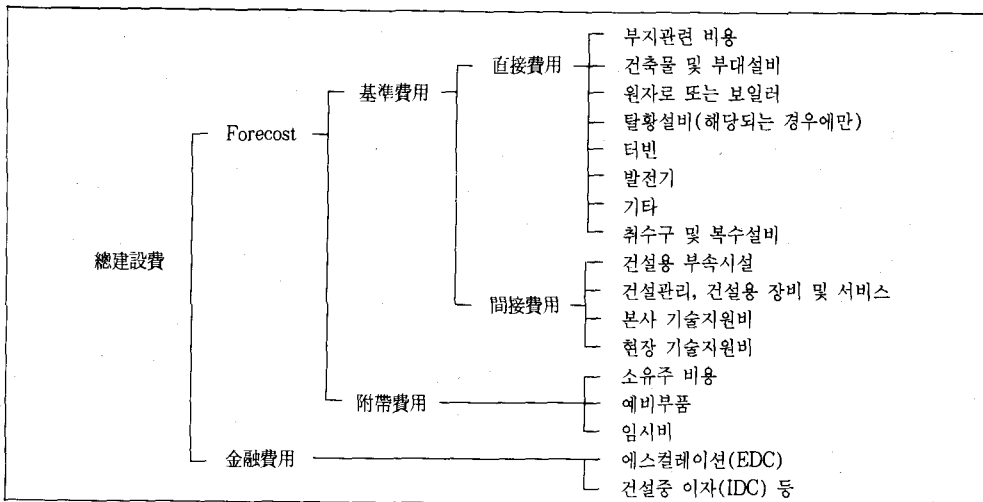
전력요금의 측면에서 보면, 전력을 생산/판매하여 수용가로부터 받는 수익은 전력을 공급하는데 소요되는 최소한의 비용(고정비+변동비)을 충당할 수 있어야 한다. 그러므로 전력요금도 ① 기본요금과 ② 전력량요금의 두 가지 체계로 부과된다. 이 가운데, 기본요금(Demand Charge)은 위에서 설명한 고정비에 근거한 것으로, 수용가가 전력회사와 계약한 受電設備 規模(kW)에 따라賦課되며, 전력량요금(Energy Charge)은 변동비에 근거한 것으로 수용가의 전력 사용량[kWh]에 따라 부과된다.

지금부터는 發電原價를 구성하는 가장 중요한 요소인 건설비, 연료비 및 운전유지비에 관하여 간단히 살펴보기로 한다.

나. 건설비

건설비는 발전소를 건설하여 상업운전(Commercial Operation)을 하는데까지 소요되는 모든 자본적 지출을 의미한다. 일반적으로 수력 및 원자력 발전설비는 건설비 고정부담분¹⁾이 發電原價 증가장 큰 비중을 차지한다. 총건설비는 보통 Overnight Cost²⁾(혹은 Forecast라고도 함), 물가상승률(Escalation), 그리고 건설기간중에 지급하는 이자(Interest Paid) 등으로 이루어진다.³⁾ 일반적으로 Overnight Cost는 직접 비용과 간접 비용으로 나누어지며(이 두 가지를 합해서 기준비용(Base Cost)이라 함), 여기에는 소유주 비용(Owner's Cost), 예비부품 비용, 임시비 등도 포함된다(그림 A-3 참조). 직접 건설비(직접 비용)는 발전설비⁴⁾, 발전소 부지, 특수 재료⁵⁾ 등에 직접적으로 소요되는 비용이다. 직접 비용은 감가상각의 대상이 되는 자산과 그렇지 않는 자산으로 나뉘어진다. 발전소 부지 및 초기 핵연료 장전비, 원자로용 중수(중수가 사용되는 경우)외의 모든 건설비용이 감가상각되는 비용이다. 간접 건설비(간접 비용)는 좀더 일반적인 성질의 비용이며 주로 서비스⁶⁾, 임시건물 설치비 및 임대료 등에 소요되는 지출이다.

발전소 건설비는 발전소 부지조건⁷⁾, 건설기간,



<그림 A-3> 건설비의 구성요소

발전기 용량, 건설기간 중의 물가인상률, 할인율 및 규제사항 등에 따라 달라진다. 예를 들면, 탈황 설비를 석탄발전소에 부착할 경우, 건설비의 총비용은 상승한다.

일반적으로 건설비는 준공시점의 가치로 환산한 건설비용을 설비용량으로 나누어 kW당 비용으로 표시한다. 왜냐하면 발전소 건설계획이 서로 다른 대안의 선택에 있어서 현재가치 비교가 용이하기 때문이다. 이 때, 준공시점의 가치에는 건설 중 이자(IDC : Interest During Construction)가 포함되는데, 발전소 건설을 위한 현금흐름이 여러 해에 걸쳐 발생될 경우, 준공시점의 未來價値(Future Value)와 각 年度別 자금흐름의 대수합과의 차이를 의미한다. 그러나 이 건설중 이자는 실제 건설기간중에 발생하는 年度別 지급이자와는 직접적인 관련이 없으며 건설기간과 할인율, 현금흐름의 형태에 따라 변하는 값이다.

그림 A-4는 발전소를 1991년초에 착공하여 1994년말에 준공하였을 때의 건설비에 대하여 설명하는 그림이다.

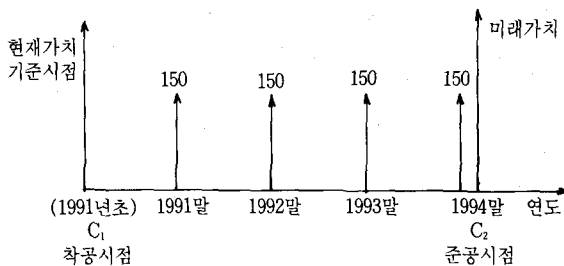
- 건설비의 착공시점(1991년초) 가치

$$C_1 = \frac{150}{(1+\gamma)^1} + \frac{150}{(1+\gamma)^2} + \frac{150}{(1+\gamma)^3} + \frac{150}{(1+\gamma)^4}$$

- 발전소 건설비의 준공시점(1994년말) 가치

$$C_2 = 150 \times (1+\gamma)^3 + 150 \times (1+\gamma)^2 + 150 \times (1+\gamma)^1 + 150$$

- 건설중 이자(IDC) = 미래가치 - 단순합계



주) 年度別 지출액은 1991년 불변가격으로 환산한 것임.

C_1 : 발전소 건설비의 1991년초의 현재가치(Present Worth)

γ : 實質割引率(Discount Rate)

<그림 A-4> 건설비의 현재가치 및 未來價値 계산

$$\text{未來價値} = 191.6 + 176.6 + 162.8 + 150 = 681$$

이 경우, 투자비의 단순합계는 \$600이며 건설중 이자(IDC)는 未來價値와 단순합계 사이의 차이인 \$81이다. 이 때의 \$600은 Overnight Cost 또는 Forecast라고 한다(실질 할인율=8.5%로 가정).

다. 연료비(Fuel Cost)

연료비(원자력 설비의 경우 핵연료 주기비)는 각 발전소에서 연료를 확보, 사용하는데 소요되는 제반 비용을 말한다. 일반적으로 화력설비(석탄, 석유, 가스)에 비하여 원자력 발전소의 연료비 계산은 복잡한데, 그 이유 중의 하나는 화석연료는 연소와 동시에 소비되어 전기 에너지로 변환되는 반면, 핵연료는 한 번 장전되면 수 년에 걸쳐 사용될 뿐만 아니라 대개 재처리(Reprocessing)되어 재사용되기 때문이다.

핵연료 주기는 기술적인 여건이나 정책상황에 따라 여러 가지 형태가 있을 수 있는데 다음과 같이 많은 시간이 소요되는 여러 단계 즉, 채광(Mining), 정광(Milling), 변환(Conversion), 농축(Enrichment), 성형가공(Fabrication), 사용(Irradiation), 저장(Storage), 운반(Shipping), 재처리(Reprocessing), 폐기물 처리(Waste Disposal) 등으로 이루어진다. 표 A-1은 핵연료 주기비를 분류해 놓은 것이다. 여기서, 직접 비용은 핵연료에서 에너지가 발생할 때까지 소요되는 제반비용을 말한다. 또한, 표 A-1의 직접비용 항목 중 핵연료 순 소모비(Net Nuclear Material Depletion)는 원자로에 신규로 장전된 핵연료의 가격과 사용 후

<표 A-1> 핵연료 주기비

核燃料 週期費	直接費用	핵연료 순 소모비
		성형가공비
		사용후 연료회수비
	間接費用	사용후 연료저장비
		연료비의 이자비용
		성형가공비의 이자비용
		회수 및 저장비의 이자비용

원자로에서 수거한 핵연료의 가격과의 차이이며, 회수비는 재처리, 재변환 및 폐기물 처리 등에 드는 비용이다. 핵연료 주기비는 이러한 실질 비용(직접 비용) 이외에도 투자비에 대한 이자비용(Interest Cost 또는 Carrying Charges)이 있다. 이와 같은 간접 비용(Indirect Cost)은 핵연료 구입과 그 연료를 사용하여 생산한 전력의 판매수입 사이의 시차로 인하여 발생하는 비용이다. 예를 들면, 輕水爐에서 사용되는 핵연료는 통상 3년 정도 사용된 후 발전소 내에 수년 동안 貯藏된다. 핵연료 주기를 거치는 동안 이와 같은 각종 시차로 인하여 돈의 시간적 가치에 관련된 비용이 상당히 발생하는데, 석탄, 기름 등과 같은 화석연료의 경우에도 저장 등으로 인하여 꽤 많은 이자비용이 발생한다고 볼 수 있다.

라. 運轉維持費(Operation and Maintenance Cost)

운전유지비는 발전소를 운용하는데 소요되는 비용 중 연료비를 제외한 모든 비용을 말한다. 이에 는 인건비를 비롯하여 소모품 및 장비(Consumable Supplies and Equipment), 외부 지원 서비스(Outside Support Services), 감속재 및 냉각재 보충분, 원전사고 보험 등에 소요되는 모든 직/간접 비용이 포함된다. 원자로 폐기비용은 대개 운전유지비에 포함시키는데, 그렇지 않을 경우에는 연간 총비용의 일부분으로 계상하여 처리한다. 대개 운전유지비는 정상운전상태에서의 발전소 평균 이용

률(Average Capacity Factor)을 기초로 하여 추정된다. 일반적으로 운전유지비는 고정비적 요소와 변동비적 요소로 나뉘어진다.

표 A-2에는 원자력 설비의 운전유지비 내역을 나타낸 것이다.

고정 운전유지비(\$/kW-year)는 발전기의 크기 및 형식에 따라 달라지며, 발전소 이용률과는 무관한 값이다. 변동 운전유지비는 발전량(즉 이용률)에 따라 값이 변한다. 회계제도에 따라서는 발전소 운전과 관련하여 소모되는 모든 자재비용(연료비는 제외)을 소모성 운전유지비(Consumable O & M Cost)라고 하여 별도로 분류하기도 한다. 이의 예로는 탈황설비에 사용되는 석회석 비용 등을 들 수 있다.

발전소 운영자본(Working Capital)은 감가상각이 되지 않으며⁸⁾, 이러한 명목으로 매년 고정적으로 지출되는 비용은 고정 운전유지비에 포함시켜야 한다. 이 비용은 발전소 운영에 필요한 현금 평균잔고와 자재 및 물품 재고평가액의 두 부분으로 이루어진다.

3. 年間發電費用法(Annual Generation Cost Method)

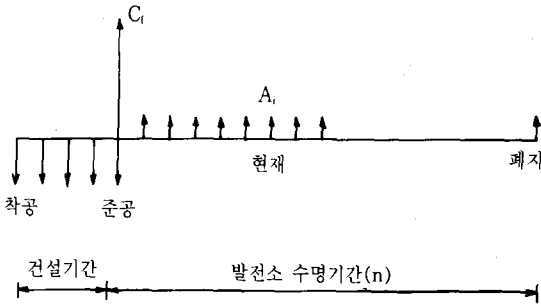
가. 개요

年間發電費用法은發電原價를 계산할 때 연료비, 운전유지비, 고정비(주로 감가상각 부분) 등 당해 연도 발전에 투입된 총비용을 당해년도 발전량으로 나누어發電原價를 계산하는 방법이다. 대 상 발전소의 연간 발전량이 일정하다면, 즉 이용률이 주어지면 초기 투자비를 회수하는 방법에 따라發電原價의 고정비 부분은 달라진다. 또한, 운전조건에 따라 매년 발전량이 변화하면 그에 따라發電原價의 고정비 부분은 매년 변동한다.

이 방법은 實績發電原價를 산출하는 데에도 이용된다. 실적 발전량은 보수계획, 고장정지, 급전 계획 등에 따라 변화하며發電原價도 실적 이용률

<표 A-2> 원자력 발전소 운전유지비 구성

운전유지비	고정 운전유지비	발전소 인건비
		소모성 물품 및 장비
		원자력사고보험
		외부지원서비스
	장비	
변동 운전유지비	소모성 물품	
	냉각재 및 감속재 보충분	



<그림 A-5> 기존발전소의 실적發電原價 계산

에 따라 변동하기 때문에 미래에 건설할 발전소의 경제성 평가에는 별로 도움이 되지 않는다. 전력 회사에서 경영실적을 발표함에 있어서, 각 발전소 별 운전실적에 따른發電原價를 산출할 때는 이 방법이 이용된다.

나. 실적發電原價의 계산

그림 A-5는 현재 운전중인 발전소의發電原價 계산방법을 설명하기 위하여 제시하였다. 여기에서 C_1 는 건설기간 중 건설에 소요된 비용의 장부가액(회계적으로 처리한 총건설비의 합계로서 발전소 착공 후 준공시까지 건설에 소요된 금액의 단순합계액)이고, A_1 는 年度別 감가상각액이다. 여기서는 정액 감가상각을 가정하여 매년 일정하다고 가정한다. 그러면, 기존발전소의 실적發電原價는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{發電原價} = \frac{\text{연간연료비} + \text{감가상각액}(A_1) + \text{운전유지비} + \text{세금} + \text{보험료}}{\text{연간발전량}}$$

다. 실적發電原價의 分析例

표 A-3에서 보면, 1991년의 중유설비 실적發電原價가 1990년과 비교하여 약 10원 정도 감소하였는데, 이는 이용률의 증가(90년 : 40.1%, 91년 : 61.9%)로 인하여 고정비 부분이 상대적으로

<표 A-3> 發電源別 發電原價
(91년 경영통계, 한국전력공사)

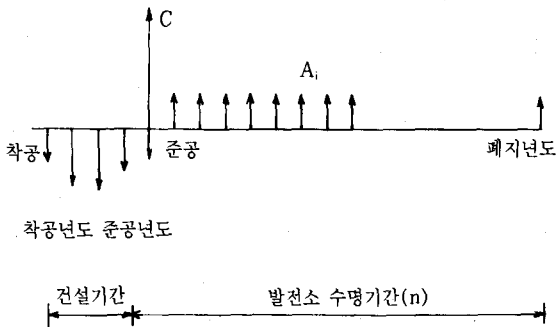
구분	1990년			1991년		
	연료비	고정비	發電原價	연료비	고정비	發電原價
석탄화력	18.18	10.76	30.95	18.0	11.5	30.79
중유화력	23.67	12.60	37.88	19.65	7.47	27.84
원자력	3.8	16.32	23.75	3.55	16.7	22.62

낮아졌으며 벙커 C油의 가격이 하락하였기 때문이다. 이것을 보면發電原價가 계통운전 조건의 변화에 따라 변화함을 알 수 있다. 그러나, 이 자료로 중유가 석탄화력보다 경제성이 있다고 말할 수는 없다. 이것은 실적發電原價가 발전설비의 상대적 경제성 평가에 사용할 수 없는 이유의 한 면을 나타낸다. 일반적으로 실적發電原價는 과거의 회계적 수치에 기초한 건설비와 운전조건을 반영한 연료비를 기초로 하므로 미래에 건설할 발전소의發電原價에 응용하기 어렵다. 또한, 회계적 수치인 실적發電原價와 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 감가상각기간 이후의發電原價는 매우 낮아져 경제성이 우월한 것처럼 나타나기 때문이다.

라. 건설대상 발전소의發電原價 계산

(1) 發電原價의 계산 방법

그림 A-6은 건설 대상 발전소의 건설기간 동안의 투자비 현금흐름(Cash-flow)과, 준공 후 발전소 수명기간 동안의 가정된 운전계획(年度別 주어진 이용률) 아래서 발전에 관련된 비용이 소요되는 형태를 가상적으로 나타낸 것이다. 여기에서 C는 준공시점의 총 건설비용(발전소 착공 후 준공시점까지 매년 건설에 소요되는 금액을 준공시점으로 未來價値化한 금액의 합계액 즉, Overnight Cost와 IDC의 합)이고, 또한 발전소의 수명기간



<그림 A-6> 發電原價의 계산

동안 발생하는 비용 A_i 는 운전개시 이후 매년 투입될 비용(고정비+변동비)을 나타내는 것이다.

發電原價는 다음과 같이 고정비 부분과 변동비 부분으로 구성된다.

$$\begin{aligned} \text{發電原價} &= \boxed{\text{고정비원가}} + \boxed{\text{변동비원가}} \\ &\quad \begin{matrix} \text{(건설비, 할인을 및 이} & \text{(연료비 및 열효율의} \\ \text{용물의 함수)} & \text{함수)} \end{matrix} \\ &\quad \downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow \\ &\quad \begin{matrix} \text{건설단가(원/kW)} & \text{열소비율(kcal/kWh)} \\ \times \text{고정비율(\%)} & \times \text{연료비단가} \end{matrix} \\ &= \frac{8760 \times \text{이용률} \times}{(1-\text{소내소비율})} + \frac{\text{발열량(kcal/kg)} \times}{(1-\text{소내소비율})} \end{aligned}$$

(2) 연간 고정비의 취급

준공된 발전소의 發電原價를 계산할 때, 고정비를 어떻게 취급하느냐에 따라 年度別로 계산되는 發電原價는 달라진다. 일반적으로 투자비는 아래와 같이 세 가지 방법으로 취급될 수 있다.

첫째, 건설기간중에 투입된 비용과 등가인 비용(준공년도의 건설비 C)이 운전 초기년도에 모두 투입되는 것과 같다고 보는 경우(즉, 초기년도에 고정비 부분이 모두 할당되므로 초기의 發電原價는 매우 크고, 그후는 작아짐)가 있고,

둘째, 수명기간(발전소 내용년수) 동안에 투자비가 불규칙적으로 배치되는 경우로서, 준공시점의 건설비 C 와 등가가 되게 하는 年度別 비용흐름(Cash-flow)을 가정하는 경우가 있고,

셋째, 발전소의 수명기간 동안에 투자비가 일정하게 배분되는 경우로서, 이 때에도 또한, 수명기

간 동안의 비용흐름을 발전소 준공년도로 현재가치화(Present-worth)하면 건설비와 등가가 된다.

일반적인 방법은 발전기의 수명기간 동안에 매년 동일한 일정금액(A : Annuity)이 회수되는 것으로 가정하여 年度別 發電原價를 계산하는 것이다(그림 A-7 참조).

발전소의 준공시점을 기준으로 한 총건설비가 C 이고, 발전소의 수명기간과 할인율이 각각 N 과 i 라고 할 때, 총건설비 C 와 등가가 되는 연금 A 는 다음과 같이 구할 수 있다(그림 A-8 참조).

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

위 식의 양변에 $(1+i)$ 을 곱하면 다음 식과 같이 된다.

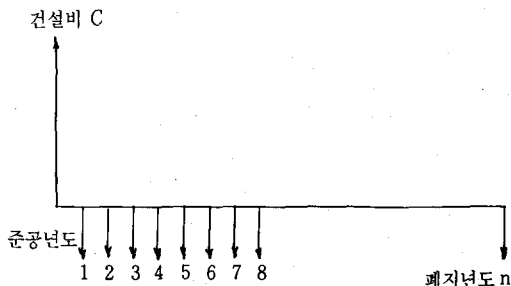
$$C(1+i)^N(1+i) = A(1+i)^N + A(1+i)^{N-1} + \dots + A(1+i)$$

앞의 두 식으로부터 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

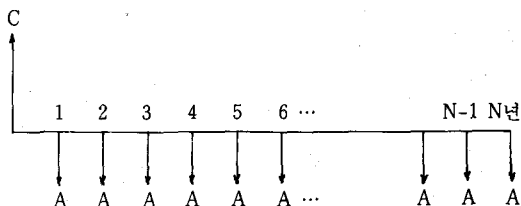
$$C(1+i)^N i = A(1+i)^N - 1$$

따라서, $\frac{A}{C} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$ 가 된다.

이를 자본회수계수라 부른다. 왜냐하면 준공시점에서 본 건설비 즉, 초기 투자비와 등가인 금액



<그림 A-7> 수명기간 동안 매년 동일한 금액이 회수될 경우



<그림 A-8> 투자비와 회수 연금의 등가

<표 A-4> 資本回收係數의 計算

구분	전원		내연력	수력	원자력
	석유	석탄			
내용년수[年]	25	25	15	50	25
자본회수계수(A)[%]	9.37	9.37	11.68	8.17	9.37
Depreciation(B)[%]	4.00	6.67	6.67	2.00	4.00
Cost of Money(A-B)[%]	5.37	5.01	5.01	6.17	5.37

A를 수명기간(N) 동안에 회수한다고 하면, 每年末에 $A = P \cdot (A/P, i, n)$ 씩 회수하여야 하기 때문이다. $i=8\%$ 이고, 내용 연수를 25년으로 했을 때의 자본회수계수(Capital Recovery Factor)는 아래와 같다.

$$\text{자본회수계수} = \frac{0.08 \times (1+0.08)^{25}}{(1+0.08)^{25} - 1}$$

표 A-4에서, Depreciation과 Cost of Money의 의미를 살펴보면 아래와 같다. 발전소 수명기간이 n 이고 할인율이 r 이므로 자본회수계수는

$$\frac{A}{C} = CRF = \frac{1}{n} + \alpha$$

이다. 초기 투자비 C 와 매년 A 씩 투자되는 금액이 증가라고 가정하면(또는 C 에 대한 금액을 매년 동일액으로 회수한다고 생각하면), $1/n$ 은 원금 C 의 상환부분에 해당하고 α 는 미상환 원금에 대한 이자라고 생각할 수도 있으므로, $1/n$ 을 감가상각 해당분(Depreciation), α 를 이자비용(Cost of Money)이라고 표현한다. 여기에서 감가상각 해당분(Depreciation)이라는 표현은 이미 건설되어 운전중인 발전소의 감가상각 충당금과는 개념이 다른 것이나, 發電原價의 고정비를 요소별로 분류하여 나타낼 때는 감가상각에 해당하는 것처럼 보이

게 된다. 그러나 건설할 미래발전소의 發電原價와 회계분야의 감가상각(또는 건설된 발전소의 減價償却費用)은 관련이 없다. 또한 이자비용(Cost of Money)도 미지급 원금에 대한 이자의 개념으로 해석하면 된다. 즉 資本費用(Cost of Capital) 등과는 관련이 없는 용어이다. 이것은 원금상환액과 이자지급비용의 합이 매년 일정하게 되도록 하는 A 를 설정하였기 때문에 발생한 상황이다.

(3) 고정비율의 계산(Fixed Charge Rate)

發電原價의 산정에 사용되는 고정비율은 자본회수계수(즉, 감가상각분과 자본비분)에서의 연금(A), 법인세 및 제세금, 보험료, 운전유지비 및 기타 발전량과 관계없이 일정하게 소요되는 비용의 초기 투자비(C)에 대한 비율을 말한다.

고정비율(Fixed Charge Rate)

$$= \frac{A + O/M \text{ Cost} + \text{세금} + \text{보험료 등}}{C} \times 100(\%)$$

(4) 이용률별 發電原價 계산 예

설비별 이용률에 따른 均等化 發電原價를 표 A-5에 나타내었으며 표 A-5의 입력자료를 기준으로 한 설비별 이용률에 따른 發電原價는 표 A-6과 같다.

계산결과를 보면 이용률 10%까지의 범위에서는 가스터빈이 유리하고, 이용률 15%까지는 복합이 유리하며, 20~70%의 범위에서는 석유화력이, 또한 이용률 80% 이상에서는 원자력이 유리한 것으로 되어 있다. 즉 發電原價를 이용하면 각 발전설비의 경제적 운영범위를 알 수 있다. 이를 이용한 방법으로서 매년의 각 발전소별 고정비와 연료비의 합계가 최소가 되는 發電源별 최적 운영범위

<표 A-5> 發電原價 계산을 위한 입력자료(적용 할인율=10%)

구분	G/T 50	복합 300	석유 500	유연탄 500	원자력 900
건설단가(\$/kW)	323	510	684	928	1474
고정비율(%)	14.95	14.95	13.64	14.87	13.50
열소비율(효율)	3,071(28%)	2,389(36%)	2,098(41%)	2,150(40%)	2,498(34.4%)
연료비(¢/10 ⁶ kcal)	128.87원/(2,041)	159,800원/kg(1,756)	77.24원/(1,118)	48.77\$/톤(774)	7.45mills/kWh(280)

<표 A-6> 계산결과

전원이용률(%)	G/T 50	복합 300	석유 500	유연탄 500	원자력 900
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

를 결정하는 심사곡선법(Screening Curve Method)이 있다.

4. 均等化 발전비용법(Levelized Generation Cost Method)

가. 개요

발전소 건설 및 운영에 따른 비용은 매년 변화하고, 또한 발전량도 여러 계통운전 조건에 의해 달라지므로 발전소별 發電原價의 비교가 용이하지 않다. 이렇게 매년 비용과 발전량이 서로 다른 대안간 비교를 위해서는 年度別로 불규칙하게 발생하는 비용과 발전량을 年度別로 균일하게 증가화할 필요가 있다. 이 때 비용은 화폐의 시간적 가치를 고려하여 일정시점(일반적으로, 상업운전 개시시점)으로 할인하고 발전량도 동일시점으로 할인한다. 이렇게 산출된 비용과 발전량을 이용하여 發電原價를 산출하여 비교하는 방법을 均等化 發電費用法이라 한다.

나. 均等化的 개념

均等化(Levelization)란 불규칙하게 발생하는 비용 및 발전량을 年度別로 균일하게 증가화하는 것

을 말한다. 전력회사에서는 원자력의 핵연료 주기비(Fuel Cycle Cost) 계산에 이것을 이용하고 있다.

그림 A-9는 均等化的 기본개념을 간략히 例示한 것이다.

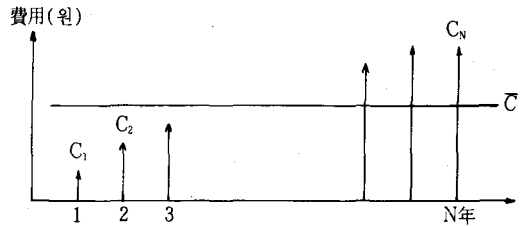
그림 A-9(a)에서 C_t 는 t 年度の 발전비용을 나타내며, 직선으로 표시된 비용곡선(\bar{C})은 이 발전비용을 경상가격 기준으로 均等化시킨 것이다. 그러나 발전량 均等化的 경우에는 가격으로 표시된 것이 아니므로 경상가격의 경우를 고려할 필요가 없다. 비용이든 발전량이든 均等化 방법은 같으므로 여기에서는 均等化 비용 계산식에 대해서만 살펴보기로 한다.

t 년도의 발전비용을 C_t 라 하고, 명목할인율(Apparent Discount Rate)을 i 라고 하면, 이 비용(C_t)을 현재화하는 식은 다음과 같다.

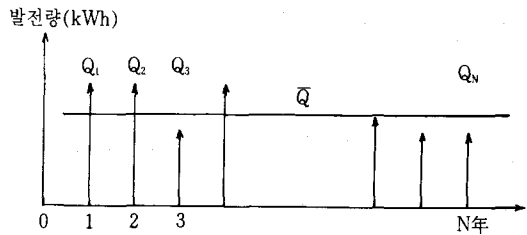
$$C_t \text{의 현재가치} = \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (A-1)$$

따라서, 발전소 수명기간이 N 년이라면, 이 기간 동안 필요한 총비용의 현재가는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{총비용의 현재가} = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (A-2)$$



C_t : t 年度の 發電費用, \bar{C} : 均等化 비용
(a) 年間 費用 및 均等化 費用



Q_t : t 年度の 發電量, \bar{Q} : 均等化 發電量
(b) 年間 發電量 및 均等化 發電量

<그림 A-9> 均等化的 개념

한편, 수명기간 동안 年度別 비용이 \bar{C} 로서 균등하다고 가정하면, 이 기간 동안의 \bar{C} 의 현재합계도 식 (A-1)에 의해 다음과 같이 표시될 것이며,

$$\bar{C} \text{의 총현재 합계} = \sum_{t=1}^N \frac{\bar{C}}{(1+i)^t} \quad (A-3)$$

이 두 현재합계는 같은 값을 가질 것이므로 다음 식에 의해 경상가격 기준으로 나타낸 비용을 구할 수 있다.

$$\sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^N \frac{\bar{C}}{(1+i)^t} \quad (A-4)$$

$$\text{따라서, } \bar{C} = \left[\sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \right] / \left[\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad (A-5)$$

한편, 다음 식과 같이 표현되는 자본회수계수 (Capital Recovery Factor)

$$\left[\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+i)^t} \right]^{-1} = \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (A-6)$$

를 이용하면, 식 (A-5)은 다음과 같이 간단한 형태로 나타내어진다.

$$\bar{C} = CRF \times \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (A-7)$$

식 (A-7)은 경상가격 (Current Price) 기준으로 계산한 것인데 이를 불변가격 (Constant Price)으로 표현할 수도 있다. 다음과 같이 C_t' 를 불변가격으로 나타낸 t 년도 발전비용이라 하고, f 를 물가상승률 (Inflation Rate)이라고 한다면, t 년도의 경상가격 기준 C_t 는 다음과 같이 계산되므로,

$$C_t = C_t' \times (1+f)^t \quad (A-8)$$

이 식과 앞의 식 (A-4)를 이용하면, 식 (A-9)와 같은 관계식을 얻을 수 있으며 이 식으로부터, 불변가격기준 均等化 발전비용을 구할 수 있다.

$$\sum_{t=1}^N \frac{\bar{C}'}{(1+i')^t} = \sum_{t=1}^N \frac{C_t'}{(1+i')^t} \quad (A-9)$$

$$\bar{C}' = CRF' \times \sum_{t=1}^N \frac{C_t'}{(1+i')^t} \quad (A-10)$$

단, $i' = [(1+i)/(1+f) - 1]$: 實質割引率

$$CRF' = \frac{[i'(1+i')^N]}{[(1+i')^N - 1]}$$

= 자본회수계수 (불변가격 기준)

식 (A-10)은 불변가격 기준으로 계산한 것인

데, 이 식의 C_t' 에 식 (A-8)을 이용하여 대입시키면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\bar{C}' = CRF' \times \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (A-11)$$

경상가격으로 표시된 식 (A-7)과 불변가격으로 표시된 식 (A-10), (A-11)를 비교해 볼 때 자본회수계수만이 다른 것을 알 수 있다. 두 가지 표시방법 중 경상가격으로 표시하는 것보다는 어떤 특정 연도의 구매력 (Purchasing Power 또는 Buying Power)을 나타내는 불변가격 기준 표시방법이 더 많이 이용된다.

5. 系統費用 分析法 (System Cost Analysis Method)

年間 發電費用法이나 均等化 비용법 등은 계획에 고려중인 발전기 사이의 경제성 비교에 널리 이용되는 방법이지만, 새로운 발전소가 발전계통 (Generation System)에 연결되어 운전할 때, 이 계통전체에 미치는 모든 영향을 검토할 수 없다. 즉 지금까지의 설명한 방법에서 發電原價를 계산할 때는 이용률을 가정하였으나, 이용률을 가정한다는 것은 미래에 계획중인 발전소가 어느 위치에서 발전을 담당한다고 가정하였으므로 미래의 실제 상황과는 괴리가 생긴다. 왜냐하면 발전소가 새로이 투입되면 기존의 발전소와 새로 투입된 발전소의 경제적 투입순서가 변화하고, 구성 발전소의 고장정지율의 영향을 받아 발전량이 변화하므로 단순하게 이용률을 가정하면 모순이 생긴다. 계통비용 분석법은 고려 대상인 전원이 계통에 연결되면 발전비용이 어떻게 변화하는가를 검토하여 보다 실제에 접근한 상태에서의 發電源間 경제성을 비교하려는 방법이다. 즉 어떤 發電源을 선택하면 전체 발전비용이 낮아지는가를 검토하는 것이다. 그리고 이 때의 發電原價는 계산 결과로 나온 연간 발전량을 이용하여 계산한다.

계통의 발전비용을 분석하려면 전력수요의 예측과 이렇게 예측된 수요를 충족시키기 위한 신규

설비와 기존 발전계통을 이용한 발전 시뮬레이션이 필요하다. 이를 위해서는 주로 전산모형을 이용한 시뮬레이션 기법을 사용해야 하는데 전원개발계획 모형인 WASP, EGEAS 그리고 발전 시뮬레이션 모형인 POWRSYM 등을 활용한다.

6. 發電原價와 電源開發計劃

지금까지는 여러 가지 發電原價의 개념과 계산 방법에 관하여 논하였다. 여기에서는 전원개발계획과 發電原價 계산이 어떤 관계가 있는가를 논한다. 즉 發電原價의 대소를 비교하여 설비투자어떤 관계에 있는가를 검토하기 위함이다. 먼저 전원개발계획의 개요에 대하여 검토한다.

가. 電源開發計劃 概要

전원개발계획은 적정 供給 信賴度를 유지하면서 고려 대상기간(통상 20여년) 동안의 年度別 투자비 및 운전비의 현재가치의 합이 최소가 되도록 하는 年度別 적정 설비조합(Optimal Mix)을 결정하는 것이다. 다시 말하면 기존 발전소 이외에 추가하여 증가하는 수요를 만족시키기 위한 年度別 발전소의 건설량, 형식 등을 결정하는 것이다. 전원개발계획은 한 해를 대상으로 비용최소화에 의해 설비구성을 결정하는 기법(Static Optimization)과 대상기간 전체를 동시에 검토하여 투자비 및 운전비의 최소화를 이루는 年度別 설비투자계획을 수립하는 동적 최적화 기법(Dynamic Optimization)이 있다.

나. 審査曲線 技法(Screening Curve Method)

이 방법은 정적 최적화 기법에 속하는 것으로서 어느 한 연도를 대상으로 부하지속곡선상의 위치에 따라 해당 부분의 發電原價가 가장 싼 발전소를 배치하여 총발전비용의 최소화를 이루는 설비

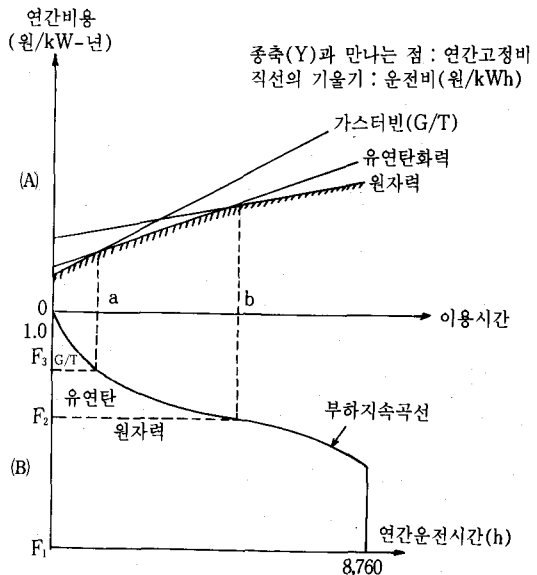
구성을 찾는 방법이다.

다시 말하면 年間 發電費用法에서는 發電原價(고정비원가+변동비원가)가 이용률에 따라 변화한다는 사실을 이용하여 發電源별로 경제적인 이용률의 범위를 계산하고 이에 따라 적정설비조합을 알아내는 방법이다. 이 방법은 최대전력, 부하지속곡선의 형태가 주어진 어느 한 연도의 상태 즉, 靜態的인 상황하에서의 설비조합을 구하는데 이용된다.

이것을 그림으로 나타내면 그림 A-10과 같다. 그림으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 즉 이용시간(또는 利用率)의 범위가 0-a일 때에는 가스터빈, a-b일 때에는 有煙炭 火力이, b 이상일 때에는 원자력 발전이 유리하며, 적정 설비조합, 즉, 각 전원별 설비규모는 원자력 발전이 $F_1 \sim F_2$, 有煙炭 火力이 $F_2 \sim F_3$, 가스터빈이 $F_1 \sim 1.0$ 사이이다.

이 방법은 이해하기 쉬우므로 설비구성에 대한 개념을 설명하기 위한 전략적인 방법으로 이용할 수 있으나, 전원개발계획에 직접 적용하기에는 다음과 같은 이유로 부적합하다.

첫째, 이 방법은 최대전력, 부하지속곡선의 형



<그림 A-10> 審査曲線 技法(Screening Curve Method)

태, 발전설비 구성이 매년 같다는 것을 전제로 하는데 실제로 이들은 매년 같지 않다. 둘째, 이 방법은 발전설비의 보수정지, 고장정지(Forced Outage) 등에 따른 供給 信賴度의 변화를 고려할 수 없다. 셋째, 전원별 필요 설비용량이 그림의 (B)부분에서 kW단위로 도출될 수 있으나 발전기는 kW단위로 분할되지 않으므로 경제성의 분기점 근처에서는 어느 전원을 선택할 것인가에 관한 정보를 제공하지 못한다.

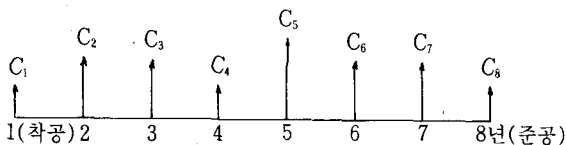
이 방법은 적정 설비구성과 發電原價의 관계를 이해하는데 도움이 된다. 예를 들면, 부하지속곡선의 형태가 변하면 發電源의 구성이 어떻게 변화하는가 또는 발전기의 고정비와 변동비의 구성이 변화하면 적정구성이 어떻게 변화하는가 등을 이해하는데 도움이 된다.

다. 系統費用 分析法과 電源開發計劃

위에서 살펴본 바와 같이 發電原價의 비교를 통한 經濟性 評價나 審査曲線 技法은 앞에서 언급한 여러 문제 때문에 전원개발계획 수립에 직접 이용하기에는 부적합하다. 다만 이용률을 지정하였을 때, 發電源간의 개략적인 비교에 이용될 수 있다.

주)

- 1) 이는 건설비와 비례 관계이다.
- 2) Overnight-Cost란 발전소를 한 순간에 건설한다고 가정할 때 드는 비용을 말함(Time Value of Money가 고려되지 않은 비용을 뜻함)
- 3) 예를 들어, 건설비의 현금흐름이 아래와 같다고 가정하여 보자.



여기서, 건설비는 목적에 따라 아래와 같은 방법으로 계산된다.

- ① 회계상 감가상각의 대상으로 사용되는 총건설비는 발전소 건설에 年度別로 투입된 비용을 조정없이(즉 Price deflator 적용 없이) 단순 합산하여 구한다. 이

반면에 계통비용 분석법은 발전소가 신규 투입될 때 계통전체에 미치는 영향까지 고려하여 발전계통의 신뢰도와 함께 계통 전체의 비용을 분석하는 방법이다. 따라서 適正 信賴度를 유지하면서 年度別 투자비 및 운전비의 현재가치의 합이 최소가 되도록 하는 전원개발계획은 계통비용 분석법을 이용하는 것이 합리적이다.

계통비용 분석에서는 계통에 포함된 각 발전소의 여러 가지 운전특성들, 전력수요 형태, 신규 발전소의 건설비, 연료비 동향, 계통의 신뢰도 등을 종합적으로 고려하여 시뮬레이션하게 되므로 계산이 복잡하다. 따라서 이러한 시뮬레이션을 하기 위하여 전력시스템 운전모형이 개발되었으며 컴퓨터 프로그램화되어 있다. 전원개발계획 수립시에는 모든 가능한 계획들의 年度別 계통비용을 모두 비교하는 것이 아니라 그 중에서 供給 信賴度가 어느 수준 이상이며 그 밖의 여러 가지 제약조건을 충족시키는 실현가능한 대안에 한해서 계통비용을 비교하여 가장 적은 계통비용을 갖는 계획안을 선택하게 된다.

한국전력공사에서는 WASP 모형을 주로 이용하고 있으며, 최근에는 EGEAS 모형을 도입하여 실용화 단계에 있다.

는 實績 發電原價의 계산에 사용되는 값이다. 즉, 회계상의 건설비

$$= \sum_{i=1}^8 C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8$$

- ② 일반적으로 투자계획과 관련된 經濟性 評價에 이용되는 건설비는 돈의 시간적 가치(Time Value of Money) 및 물가인상률 등을 고려하여 준공 연도(또는 어떤 기준 연도)의 未來價値로 환산하여 계산된다.

$$\text{즉, 총건설비} = \sum_{i=1}^8 C_i (1+r)^{(8-i)} (1+f)^{(8-i)}$$

(단, r = 이자율, f = 물가인상률)

- 4) 보일러, 원자로, 터빈/발전기 등
- 5) 원자력설비의 경우 냉각재나 감속재 등
- 6) 예를 들면 건설, 설계, 감리 등에 소요되는 비용
- 7) 지리적인 위치, 지반의 상태, 기상상태, 인구밀집지역과의 인접도 등