

며, 국제간 또는 한 국가내의 發電源間의 비교에는 均等화단가방법이 보편적으로 채용되고 있다.⁽¹⁾

電力系統費用分析方法은 영국의 CEGB가 1960년대 이래 사용하고 있는 實有效費用法(Net Effective Cost)⁽²⁾에서 그 구체적 사례를 볼 수 있는데, 이 방법은 현재의 전체 전력생산설비용량에 추가되는 年間 단위 kW당 비용의 指標(Indicator)로서 새로운 발전소의 경제성을 측정하는데 예상 경제성장의 시나리오 및 대체 발전소 건설계획을 가정한 豫測實驗 등의 복잡한 과정을 거친다.

전력계통비용분석방법을 이용한 발전단가의 비교는 총생산 전력량을 고정시킬 경우 總投資

費의 비교로 歸結된다. 電源開發計劃 電算프로그램인 WASP(Wien Automatic System Planning)나 OGP(Optimized Generation Planning)⁽³⁾에서도 總生産 電力量을 고정시킬 경우 이 방법이 적용된다. 단, 총생산 전력이나 전력계통 구성은 이미 정책적으로 주어진 電力供給不足確率(LOLP: Loss of Load Probability)에 따라 결정된다.

참고로 WASP나 OGP에서는 전력계통의 LOLP가 要求值 이상으로 될때 새로운 발전소가 계통에 병입된다. 이를 만족하는 발전소의 조합은 여러가지가 있으나 選擇基準은 投資費의 합이다.

투자비의 계산방법에 있어 WASP에서는 每

〈表1〉 發電單價計算을 위한 基本的 接近方法

方法	算出根據	偏差要因	備考
1. 年度別 發電單價 (Annual Generating Costs)	<ul style="list-style-type: none"> • 特定年度の 生産電力으로 당해년도의 자본 상각액, 운전비, 연료비의 합계액을 나눈 금액 	<ul style="list-style-type: none"> • 자본 상각방법(정율법, 정액법) • 인플레이션(경상가격, 불변가격) • 미래예상비용 감안방식(당해년도 운전예 직접 관련됨) 	<ul style="list-style-type: none"> • 회계학적 접근방법으로 지출비용의 회수를 추구 • 전력회사가 가동중 발전소의 발전원가 제시에 사용하는 경우 많음 • 미래의 투자에 대한 지침을 제시 못함
2. 均等化 單價 (Levelized Costs)	<ul style="list-style-type: none"> • 신규발전소의 설정 경제수명 동안의 소요비용(자본비, 운전비, 연료비)을 할인율에 의하여 기준시점의 현재가치로 환산하고 그 값을 기준시점으로 할인된 총전력생산량으로 나눈금액 	<ul style="list-style-type: none"> • 명목 물가상승을 적용시 경상가격, 실질물가 상승을 적용시 불변가격으로 표시됨 • 상이한 총연료비 산정기준 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가내 또는 국제간의 대등한 전력서비스에 대한 투자선택 비교의 합리적 기준임
3. 電力系統 費用分析 (System Cost Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> • 발전소의 추가건설이 국가 전체의 전력계통 운영비용에 미치는 영향을 수요, 투자 및 설비용 등의 가정에 입각하여 예측함 	<ul style="list-style-type: none"> • 均等화단가에서의 동일 	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 전력공급 비용의 최소화를 위한 투자결정(발전소 용량결정)에 사용 • 결과치가 비용의 특성 이외에 한나라의 전력계통망의 영향을 받으므로 국제간 비교에는 적용이 다소 제한적임

주: 1. 資料: 參考文獻(1) 參照

년의 建設費, 燃料費, 運轉維持費의 합으로 계산되고, OGP에서는 均等化固定費(Levelized Fixed Cost)와 使用者가 지정한 期間(최대 30년)동안의 均等化 燃料費(Levelized Fuel Cost), 均等화 運轉維持費(Levelized O & M Cost)의 합이 선택의 기준이 된다.

WASP에 있어서는 매년의 투자비를 발전소 선택기준으로 삼기때문에 전원개발계획기간 이후의 발전소 운전을 고려할 수 없다는 점이 短點으로 지적되고 있다.

3. 發電單價算出모델

가. 構成要素

발전단가는 일반적으로 발전소 經濟壽命年限 동안의 總 投入費用(자본비, 운전유지비, 연료비 등)을 총전력 생산량으로 나눈 개념으로 이해할 수 있다. 여기서는 발전단가의 산출방법으로서 국제적으로 널리 사용되고 있는 均等化 單價法에 의한 모델식⁽⁴⁾을 소개한다.

$$Lc = \frac{\sum_{t=0}^{\ell} (c+m+f) \left(1 + \frac{e}{100}\right)^t / \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t}{\sum_{t=0}^{\ell} Gt \cdot Pt \left(1 + \frac{e}{100}\right)^t / \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t}$$

위에서 Lc : 均等化 單價

c : 資本費

m : 運轉維持費

f : 燃料費

ℓ : 發電所經濟壽命

e : 名目物價上昇率

t : 年度

r : 現在價値換算率(割引率)

Gt : 當該年度 總生産可能電力量

Pt : 當該年度の 利用率

(Gt·Pt : 當該年度の 純電力生産量)

여기서 r은 比較 基準年度로의 現在價値換算을 위한 割引率로서 投下資本의 實質回收과 관련이 있다. 均等化 單價에 영향을 미치는 獨

立變數로서는 割引率(r), 發電所經濟壽命(ℓ), 當該年度 순전력 생산량(Gt·Pt) 등을 들 수 있다.

한편 發電費用은 자본비, 운전유지비 및 연료비 등의 구성요소로 파악해 볼 수 있는데 이를 도표화하면 表2와 같다.

構成要素를 函數關係로 정리하면 다음과 같다.

$$c = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7$$

$$m = Y1 + Y2 + Y3 + Y4$$

$$f = Z1 + Z2$$

여기서 c : 資本費

m : 運轉維持費

f : 燃料費

X1 : 建設費

X2 : 建設中利子 및 物價上昇

X3 : 初期燃料費

X4 : 解體費

X5 : 保險/税金

X6 : 重水(必要時)

X7 : 脫黃施設費(必要時)

Y1 : 勞務費

Y2 : 部品費

Y3 : 消耗品費

Y4 : 重水の 보충 및 수질유지비

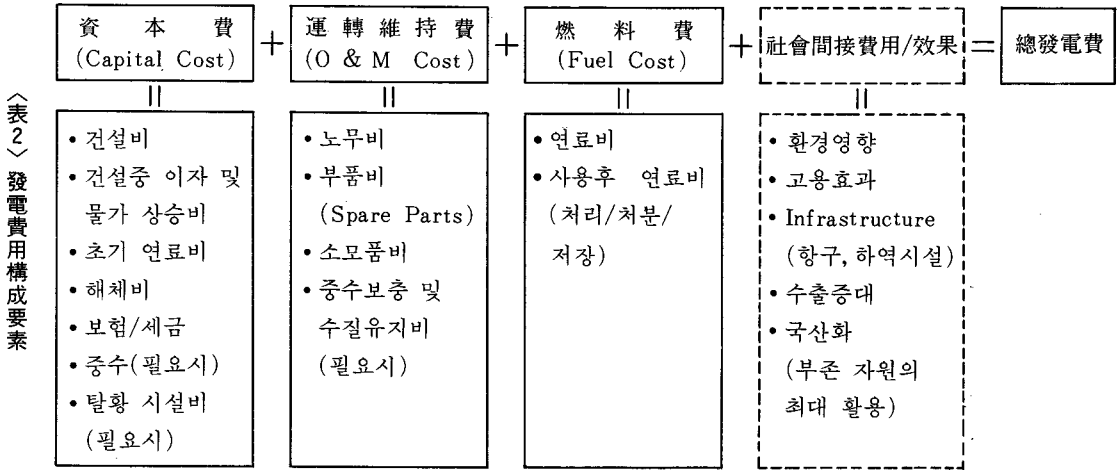
(必要時)

Z1 : 燃料費

Z2 : 使用後燃料費(處理/處分/貯藏)

전력단가는 이러한 변수는 물론 국가별 여건에 따라서도 변화하는데 表3 및 表4에서는 국가별 원자력 및 석탄화력 발전단가중 자본비, 운전유지비 및 연료비가 차지하는 비율을 예를 들어 나타내었다.^(1, 2, 5, 6)

이 표들을 보면 원자력발전에 있어서 연료비는 대략 전체 발전단가의 25%가량을 차지하고 있으며, 석탄화력 발전의 경우 연료비는 약 70%이다. 한편 원자력발전소를 성공적으로 건설하고 있는 일본, 프랑스, 캐나다의 資本比率은 약50%정도이나 미국과 같은 경우는 60%를



〈表 3〉 原子力發電單價構成費(例)

(단위 : %)

因子 國家	資本費(c)	運轉維持費(m)	燃料費(f)	備 考
벨기에	50	23	27	
캐나다	53	25	22	
핀란드	61	10	29	
프랑스	49	18	33	
서독	55	16	29	
일본	52	18	30*	*참고문헌(7)에는 25%로 나타나 있음
스웨덴	57	15	28	
미국	64	13	23	
영국	69	9	22	

주) 1. 자료 : 참고문헌 (1), (2), (5)~(8) 참조

2. 한국의 경우 (자본비+운전유지)가 발전단가의 85% 차지 (참고문헌 (8))

넘고 있다.

나. 構成要素에 대한 潛在變數 및 要素別感應度 위에서 살펴본 구성 요소에 대하여 영향을 미치는 潛在變數(Hidden Variables)로서는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- 利率(Interest Rate)
- 建設費(Construction Cost)
- 利用率(Capacity Factor)

〈表 4〉 石炭火力發電單價構成費(例)

(단위 : %)

因子 國家	資本費(c)	運轉維持費(m)	燃料費(f)	備 考
벨기에	17	9	74	
캐나다	12	4	84	
핀란드	22	5	73	
프랑스	23	8	69	
서독	17	13	70	
일본	24	11	65*	*참고문헌(7)에는 40%로 나타나 있음
스웨덴	21	12	67	
미국	35	13	52	
영국	26	7	67	

주) 1. 자료 : 참고문헌 (1), (2), (5)~(8) 참조

- 燃料費(Fuel Cost)
- 經濟壽命(Life Time)
- 物價上昇(Escalation)

여기서는 이들 가운데 利率, 建設費, 利用率 및 燃料費 등의 변동이 발전단가에 미치는 感應度(Sensitivity)를 살펴 보고자 한다.

1) 利率

이자율은 발전비에 가장 큰 영향을 주는 변동 요소이다. 低利率에서는 자본 집약성으로 인하여 원자력이 석탄화력 보다 유리하고 高利率에서는 원자력의 우위성이 감소한다.

2) 建設費

발전소 건설비는 국가간 또는 국가 내에서도 建設工期(Construction Period), 敷地條件(Siting Conditions), 발전소 形態 및 容量(Type and Size of Plant), 동일 부지 내에서의 發電所基數(No. of Units), 冷却方式(Cooling Method), 認許可條件(Regulatory Requirements), 借入資金利率, 豫備費勸案率 등 여러가지 因子에 의하여 영향을 받는다.

原子力은 資本費가 石炭火力보다 크므로, 원자력의 發電單價는 石炭火力에 비하여 建設비 변동에 따른 영향을 크게 받는다. 그러나 建設비가 基準値 보다 30% 정도 증가한다 하더라도 原子力의 優位는 繼續維持되는 것으로 나타났다.⁽⁹⁾

3) 利用率

發電單價算出모델에 적용하는 利用率에 따라서도 發電費(Lc)는 변화한다.

石炭火力 발전소의 경우 1969년~1978년 사이에 71-77%의 利用率을 보이고 있으며, 原子力은 43-68%의 낮은 利用率을 보이고 있다. 그러나 원자력의 경우에는 運轉經驗, 設計改善 및 品質保證의 강화를 통하여 이용율의 향상을 기하고 있으며, 70% 이상의 利用率이 기대되고 있다.⁽⁹⁾

4) 연료비

石炭火力發電所の 경우 電力單價中 燃料費가 차지하는 比重이 원자력에서 보다 매우 크므로, 燃料費가 上昇할 수록 石炭火力의 經濟性은 低

下된다.

4. 原子力과 石炭火力發電單價 比較(例)

外國에서 수행된 原子力 대 石炭火力의 發電單價^(1,2,5-8)比較要約은 表9와 같다. 이 표에 나타난 數値는 均等化原價(Levelized Cost)法을 사용하여 導出된 것으로서 單價 산출방법 적용시의 基本前提 및 假定(이들테면 발전소 수명, 현재 가치 환산율, 이용율 및 建設기간 등) 및 발전비의 구성요소에 미치는 影響因子들이 상이하기 때문에 各 國家間의 直接比較는 불가능하지만 國家별로 보면 대부분의 國家에 있어서는 石炭火力 보다는 原子力을 利用할 경우의 發電單價가 저렴한 것을 보여주고 있다. 참고로 表10에는 國家別 發電施設容量(kW)當 資本費를 나타내었다.

5. 其他 考慮要素

일반적으로 發電所の 經濟性 比較에는 이상 설

<表 6> 建設費變動에 따른 發電費(Lc)

(단위: Penni/kWh)

發電所 變動率(%)	原子力	石炭火力	備考
-20	10.0	15.0	
-10	10.5	15.5	
기준	11.4	16.1	
+10	13.0	16.5	
+20	13.5	17.0	
+30	14.0	17.5	

주) 1. 자료: 참고문헌 (9) 참조

<表 5> 利率率 변동에 따른 發電費(Lc)

이자율(%)	발전소	2		5		6		8		10	
		원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력
핀란드 Penni/kWh		9.5	15.5	11.4	16.1	12.4	16.8	15.0	17.6	17.0	18.0
영국 Pence/kWh		1.94	2.60	2.39	2.67	-	-	-	-	-	-

주) 1. 자료: 참고문헌 (2), (9) 참조

〈表 7〉 利用率變動에 따른 發電費(Lc)

최대출력운전시간 (이용율, %)	7000(80)		6000(68)		5000(57)		4000(46)		3000(34)	
	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력	원자력	석탄 화력
핀란드 P/kWh	11.4	16.1	12.7	16.9	14.8	17.9	17.6	19.3	23.5	22.0
영국 mills/kWh	-	-	77	96	87	104	101	115	128	137

주) 1. 자료 : 참고문헌 (9), (10) 참조

명한 발전단가만을 들어 이야기 되어 왔으나 근래에는 발전소 건설에 대한 국가적인 관심이 증대됨으로써 단순한 경제적 요소 이외의 다른 요소들도 발전소 건설의 政策決定에 중요한 것으로 인식 되어지고 있다.

가. 雇傭效果

발전소 건설 및 운전에 따른 雇傭效果는 상당히 크며 원자력발전소의 경우 대규모 投資와 工事期間의 長期로 인하여 석탄화력 발전소 건설보다 相對的으로 높은 고용효과를 보여준다.⁽⁶⁾

나. 環境要素

1) 원자력발전소는 放射性物質을 環境으로 排出하나 이는 자연방사능 이하의 극히 미량이며 석탄화력 발전소의 경우 오히려 2~3배의 방사성 물질(라돈)을 배출한다.⁽⁹⁾

2) 원자력발전은 석탄화력발전보다 熱效率이 낮으므로 화력보다 더 많은 열을 環境으로 배출한다.⁽⁹⁾

3) 석탄화력발전소는 SO₂, CO₂를 배출, 酸性비와 地球溫度上昇(溫室效果)을 초래하며 분진 중의 重金屬도 유해하다. 脫黃設施의 追加는 6~12%의 發電費增加를 招來한다^(9,11) (참고문헌 (1)에서는 15%의 증가로 봄).

4) 석탄화력발전은 석탄과 재를 취급하기 위한 설비와 재를 폐기할 장소가 필요하며, 발전소 부지의 점유 기간에서 원자력은 석탄화력보다 장기간을 요한다.

5) 원자력발전은 放射性廢棄物, 使用後 核燃料處理, 處分に 있어서 유의를 요한다.

〈表 8〉 燃料費變動에 따른 發電費(Lc)

(단위 : Penni/kWh)

發電所 變動率(%)	原子力	石炭火力	備考
-10	11.0	15.0	
기준	11.4	16.1	
+10	12.0	17.5	
+20	12.5	19.0	
+30	13.0	20.0	

주) 1. 자료 : 참고문헌 (9) 참조

이상과 같이 각기 환경문제에 있어서 원자력과 석탄화력은 장·단점들을 지니고 있으며 각국의 실정에 따라 전체적인 관점에서 고려되어야 한다.

다. 經濟, 社會的 危險負擔

1) 原子力에 비하여 燃料費比重이 相對的으로 높은 石炭화력발전은 石炭價格이 적절히 산정되지 못할때 國家經濟에 財政的 負擔을 초래한다.

2) 原子力은 投下資本費用이 막대하므로 제대로 운전되지 않을 경우 경제적, 사회적 문제가 야기되며 세계의 어느 한 곳에서의 事故로 다른 國家나 地域의 原子力發電所를 長期間 廢鎖당할 우려성이 있다. 또한 정치적, 기술적 문제등이 운전과 건설에 있어서 큰 추가부담을 초래할 수 있다. 물론 이러한 점들은 원자력의 技術性 및 安全性 改善으로 감소시킬 수가 있다.

라. 燃料供給의 安定性

연료의 자체 공급이 불가능한 경우 연료공급

의 안정성문제는 경제성 비교에 큰 영향을 미친다. 석탄가격은 핵연료에 비해 상대적으로 높은 증가추세를 보이고 있으며 정상적인 비축 가능량도 원자력은 2년이상이나 비해 석탄화력은 비축장소 및 비용문제로 인해서 6~12개월로 제한되어 있다. (6,9)

마. 貿易政策

국산화비율이 낮은 경우 원자력은 기자재 공급국의 선택이 중요하며, 석탄화력은 석탄공급국의 선택이 매우 중요하다. 즉 국제경제, 정치적 관계의 현황 및 장기적 전망도 발전소건설에 고려하여야 할 중요 요소가 된다.

바. 國產化率

국내 가용자원의 최대한 이용이라는 면에서는 발전단가의 경제성 비교에 의한 우월에도 불구하고 다른 결정이 행해질 수 있다. 그림 1은 핀란드의 경우를 예시한 것인데 토탄(Peat)의 경우 발전단가는 가장 비싸지만 국산화율이 제일 높다. (6)

따라서 국가경제 전체적 입장 또는 전력의 장기개발계획이라는 측면에서는 발전단가의 우열 비교와는 다른 대안이 선택될 여지가 있다.

〈表 10〉 國家別 發電施設 容量當 資本比

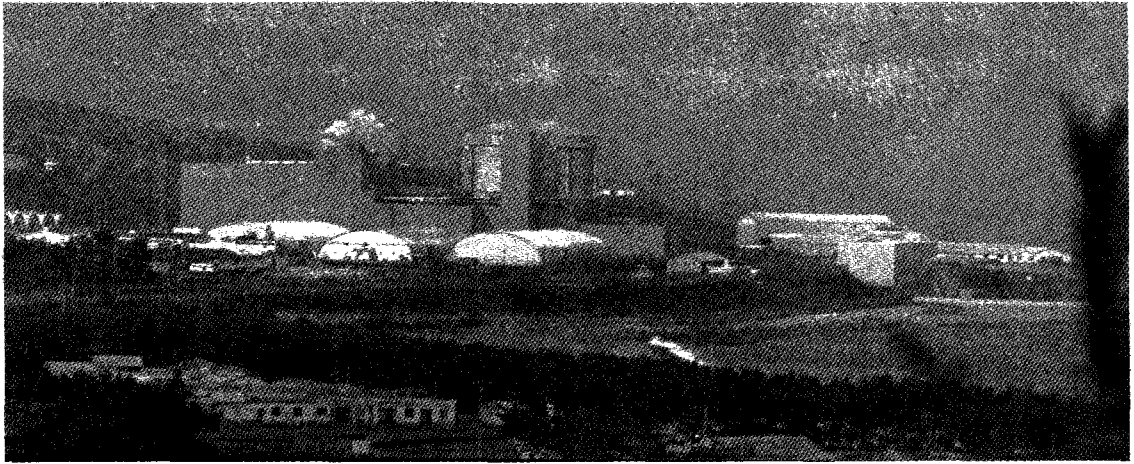
國 家	單 位	資 本 費	
		원자력	석탄화력
벨기에	ECU/KW 1981. 1 가격	996	471
캐나다	C\$/KW 1982. 1 가격	663	216
핀란드	Fin. Marks/KW 1983. 4 가격	6,900	3,450
프랑스	ECU/KW 1981. 1 가격	811	655
서독	"	1,298	623
일본	"	1,066	757
스웨덴	"	1,400	670
미국	"	1,417	783
영국	"	2,261	1,372

주) 1. 자료 : 참고문헌 (1), (5), (6) 참조

〈表 9〉 國家別發電單價(Lc)의 例

國 家	發 電 單 價(Lc)			比 率 (석탄/ 원자력)	備 考
	단 위	원자력	석 탄		
벨기에	10 ⁻² ECU/kWh 1981. 1 가격	2.51	3.50	1.39	ℓ=20년, r=5%, p=70%
캐나다	캐나다 Mills/kWh 1982. 1 가격	19.45	28.66	1.47	• 경제수명 - CANDU:40년, 석탄:30년 • 명목 이자율 : 11.1% • 이용율(p) : 86.5%
핀란드	핀란드 Pennies/kWh 1983. 4 가격	14.5	17.0	1.17	ℓ=20년, r=5%, p=70%
프랑스	10 ⁻² ECU/kWh 1981.1 가격	2.07	3.62	1.75	"
서독	"	2.87	4.71	1.64	"
일본	"	2.57	3.88	1.51	"
스웨덴	"	3.05	4.07	1.33	"
미국	"	2.89	2.92	1.01	"
영국	Pence/kWh 1982. 3 가격	2.61	3.88	1.49	• 건설예정인 Sizewell-B 기준 ℓ=원자력 : 35년, 석탄화력 : 40년 r=5%

주) 1. 자료 : 참고문헌 (1), (2), (5), (6) 참조



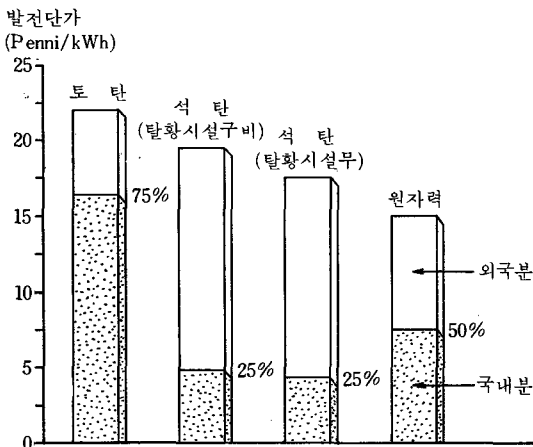
〈原子力3號機의 全景〉

〈表11〉 發電所設計·建設·運轉의 雇傭效果

區分	發電所	
	原子力 (1000MW)	石炭火力 (500MW)
설계·건설(총 Man-Year)	20,700	4,200
운전유지(연간 Man-Year)	350	280

주) 1. 자료 : 참고문헌 (6) 참조

〈그림1〉 發電單價 및 國産化率



사. 公共研究投資 및 Infrastructure

원자력이 선택될 경우 認許可, 核燃料週期(Nuclear Fuel Cycle), 廢棄物處分, 技術要員訓練 등에 있어 석탄화력에 비해 상대적으로 많은 공공 투자가 이루어져야 하지만, 석탄화력의 경우는 港口建設, 環境汚染調節, 灰(Ash)의 活用 등

Infrastructure의 개발을 위한 정부의 노력이 보다 더 경주되어야 한다.

6. 맺음말

이상에서 검토해 본 바와 같이 發電所의 經濟性比較는 발전단가 산출접근 방법의 여하에 따라, 또한 동일한 접근방법을 적용함에 있어서도 고려되는 변수 및 인자에 따라 다양한 결론이 도출될 수 있다.

여러나라에서 수행된 비교검토 결과에 의하면 일반적으로 原子力이 石炭火力에 비하여 상대적 우위성을 지니고 있는 것으로 나타나 있으며 또한 석탄화력에 있어서도 原子力에 못지않은 제반 문제점이 간과 되어져 왔다는 점도 주목해야할 필요가 있다.

석탄, 석유 등 화석연료의 연소시 발생하는 CO₂는 지구의 온도상승을 초래하며 이로 인한 환경영향은 산성비와 더불어 매우 심각한 것으로 받아들여 지고 있다. 그러나 이 영향은 일반적인 政策決定過程에 소요되는 시간에 비해 長期的으로 서서히 그 效果를 나타내며, 自由經濟體制에 있어서는 화석에너지 이용 증대의 단기적이고 즉각적인 效果만이 큰 매력으로 의사결정에 작용되고 있으므로 세계는 화석에너지 이용이 끼치는 환경영향에 대해 效果적으로 對處하

지 못하고 있다.

원자력, 풍력, 태양열 등의 대체에너지원들은 이들의 소비형태가 電氣이므로 미래 사회에 예상되는 에너지需要, 즉 電力需要를 효과적으로 충족시킬 수가 있으며 대기중 CO₂의 증가율을 현재의 수분의 일 수준으로 감소시킬 수 있다. 그러나 이미 實用化 되어 있는 原子力 이외의 어떠한 대체에너지들도 기존의 에너지사용패턴에도 도입되어 정착되기까지는 50년 이상이 소요된다. 따라서 우리는 원자력 이외의 대체에너지의 활용 기준시점은 50년 이상의 미래에 두어야 할 것이다.

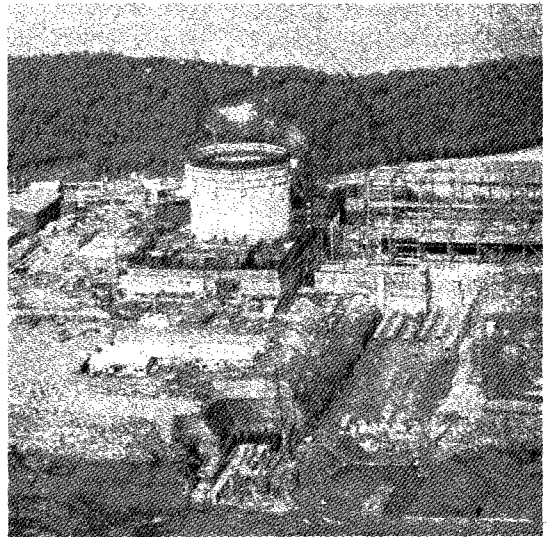
그러나 우리의 電源開發計劃이 원자력 일변도로 추진되어야 한다는 결론을 내릴 수 있는 것은 아니다. 發電單價로 나타난 수치에만 집착하여 原子力과 石炭火力の 經濟性을 따지게 되면 인력수급, 재정운용 등에서 비합리적인 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 따라서 經濟性 比較는 하되, 이의 제한성을 충분히 고려하여 電源開發計劃을 수립해 나가야 할 것이다.

우리가 감당할 수 있는 범위내에서 基底負荷 (Base-Load)用 原子力發電計劃을 수립하고 全体 電源開發計劃을 여기에 맞추는 것이 합리적인 것이다. 우리가 必要로 하는 것은 안정된 전원개발계획 내에서의 原子力開發이며 이러한 원칙에 따른 안정된 原子力開發政策은 우리나라 경제 발전에 크게 기여할 것으로 확신된다.

이 글은 지난 7월 12일 韓國 엔지니어클럽에서 있었던 鄭博士의 特別講演에서 發表된 內容을 收錄한 것이다.

<參 考 文 獻>

1. The cost of generating electricity in nuclear and coal fired power stations, Nuclear Energy Agency, OECD, 1983
2. Analysis of generation costs, Central Electricity Generating Board, Feb. 1983



<原子力9·10號機 建設現場>

3. A comparison of the General Electric Optimized Generation Planning (OGP) Program and the Wien Automatic System Planning (WASP) Program, D. L. Dees, Dec. 1978
4. Coal and Nuclear; A comparison of the cost of generating base-load electricity by region NUREG-0480, USNRC, Dec. 1978
5. Economics of CANDU-PHWR, Ontario Hydro, March 1983
6. Comparison of base-load power plant alternatives, Imatran Voima Oy, April 1983
7. H. Takahashi, Prospect for promotion of nuclear power development in Japan, May 1984
8. 1984년도 주요업무 추진계획, 한국전력공사, 1984. 2
9. Study on costs and relevant aspects for nuclear and coal-fired power plant in Finland, Motor Columbus, March 1982
10. Economic comparison of NPP and coal plants in Korea, Bechtel Power Co., Jan. 1984
11. F. M. Foulkes, The economics of coal-fired and nuclear power generation in Alberta, Canatom Inc., May 1982
12. David Rose, Global energy future and CO₂-induced climate change, M. I. T., Nov. 1983