

技 術 解 說

設備計劃의 經濟性評價를 爲한 發電所建設費 算定

李 哲*

目 次

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. 概 要 | 4. 建設費 算定基準 및 主要 人力變數 |
| 2. 建設工程 및 建設費의 定義 | 5. 建設費 算定 結果分析 |
| 3. 建設費 算定技法 | 6. 結 論 |

1. 概 要

電源開發의 經濟性을 評價하기 爲하여는 發電設備別 發電費用(Generation Cost)의 構造를 分析하여야 하며, 그 構成은 크게 나누어
 建設費(Capital Cost)
 燃料費(Fuel Cost)
 運轉維持費(Operation and Maintenance Cost)

로 分類할 수 있다. 이 中 建設費는 發電方式에 따라 發電費의 30~70%를 占有하게 되므로, 設備別 建設費의 推定은 電源開發 經濟性評價의 첫段階라 하겠다.

過去에는 經濟가 대체적으로 安定勢를 維持하고 있었으므로 設備投資에 對한 經濟性을 判斷하는데 建設費의 推定이 큰 問題가 되지 않았으나, 1970年代에 들어서면서 石油波動으로 因한 에너지 危機와 高物價時代를 맞이하여 相對的으로 建設費도 急上昇하고 있으며 上昇要因으로서 크게

- 一 物價上昇率 및 利率의 上昇
- 一 環境保全 및 安全法規의 補強에 依한
 - 直接工事費의 增加
 - 設計 및 建設工期의 延長
 - 行政規制當局의 認許可 節次의 複雜性
 - 公害防止費用의 增加
- 一 單位機容量 大型化와 大容量 原子力

發電所 建設에 따른 投資費 增加 등이 있다. 이와같은 要因에 依한 建設費의 上昇은 電力會社에 막대한 投資費 負擔壓力을 주게 됨에 따라 좀더 正確하고 現實的인 建設費의 推定을 爲하여 既存設備의 建設費를

細密히 分析·評價하고, 항상 最新의 關聯資料를 蒐集, 整理·補完하여 投資費 基本資料(Capital Cost Data Base)를 作成하여 이에 依한 新規設備의 建設費를 推定해야 한다.

本稿에서는 建設費의 定義 및 算定範圍와 關聯算定技法을 紹介하고, 建設費 算定을 爲하여 美國의 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 開發한 ORC-OST-II 電算模型을 應用하여 發電型式別 建設費를 推定하였으며 그 結果를 分析, 檢討하였다.

2. 建設工程 및 建設費의 定義

가. 建設工程 및 節次

發電所의 建設은 電力需要 成長에 맞추어 長期電源開發計劃에 依하여 施行하게 되며 建設工期가 發電型式에 따라 數年에서 10年以上 所要되므로 事前에 細密한 調査, 檢討를 하여 建設에 着手하여야 한다. 發電所建設工程을 段階別로 살펴보면 크게

- ① 長期電源開發計劃 樹立
- ② 妥當性調査
- ③ 發電所建設 基本計劃 確定
- ④ 立地確保
- ⑤ 建設工事 着手
- ⑥ 試運轉 및 性能試驗
- ⑦ 竣工(商業運轉)

으로 區分할 수 있다.

그림 1은 典型的인 原子力發電所의 建設工程을 나타내고 있으며, 行政當局, 電力會社(技術用役·設計, 監理者包含), 機器供給者 및 財源調達機關의 各各의 役割과 機能을 段階別로 說明하고 있다.

* 正會員: 韓國電力(株) 電源計劃部長

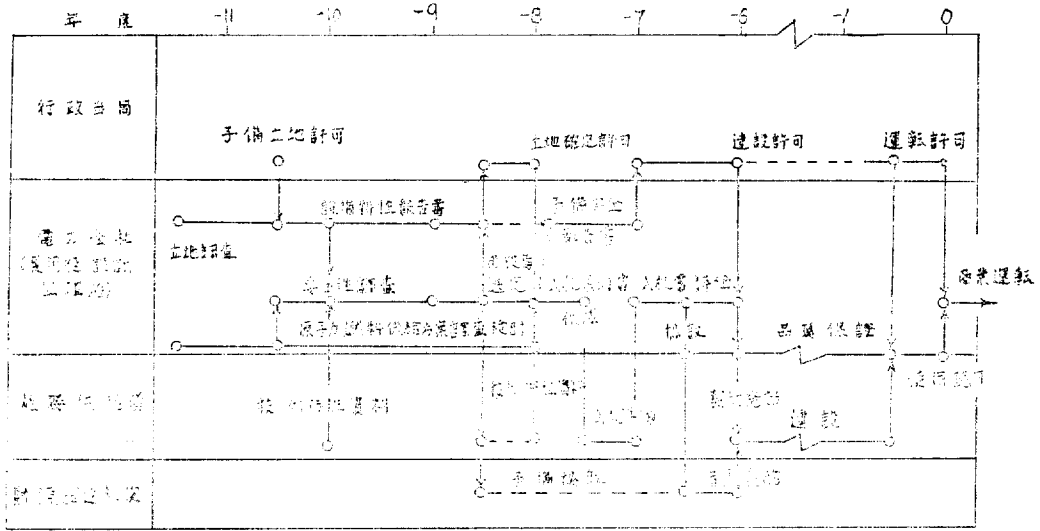


그림 1. 原子力發電所의 建設工程 概略圖

나. 建設費의 定義

建設費는 發電所建設의 計劃段階부터 認許可, 建設,

表 1. 建設費計定 項目別 定義
Table 1. Definition of Capital Investment Costs

計定項目 (Account number)	內 容 (Description)
直接費 (Direct Cost)	
21.	土地 및 構造物 (Structure and site facilities)
22.	보일러/原子爐設備 (Boiler/reactor plant equipment)
23.	터빈設備 (Turbine plant equipment)
24.	電氣設備 (Electric plant equipment)
25.	雜設備 (Miscellaneous plant equipment)
26.	冷却設備 (Cooling towers, SOx removal system)
間接費 (Indirect Cost)	
91.	建設附帶設備 (Construction facilities equipment and service)
92.	設計 및 엔지니어링 (Home office engineering)
93.	附帶設備에 엔지니어링 및 建設管理 (Field office engineering and construction management)
其他費用 (Other Cost)	
	事業者費用 (Owner's cost)
	豫備費 (Contingencies)
	發備品 (Spare parts)
	建設利子 (Interest during construction)

該運轉 및 商業運轉 開始에 이르기까지의 모든 費用을 말한다. 그러나 建設費는 그 算定方式에 따라 差異가 있으며, 여기서는 先進國에서 算定基準으로 使用中인 美國의 NUS(Nuclear Utilities Services Corporation)의 建設費 計定項目(Cost Account Code)을 基準으로 하였으며 計定項目의 內容은 表 1과 같다.

總建設費를 C라 하면 項目別 費用은 크게 다음과 같은 要素의 費用으로 表示할 수 있다.

$$C = C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5$$

이에서,

C_0 = 直接費 및 間接費(Direct Cost & Indirect Cost)의 基本費用(Base Cost)

C_1 = 事業者費用(Owner's and Other Cost)

- 敷地整地費
- 要員訓練費
- 技術用役費
- 一般管理費, 等

C_2 = 建設期間中の 利子(IDC: Interest During Construction)

C_3 = 初期燃料費(Cost for the initial fuel loading)

C_4 = 特殊稅, 認許可費, 等

C_5 = 建設期間中の 物價上昇率(EDC: Escalation During Construction)

이와같이 表現된 總建設費는 그 使用目的에 따라 一部 計定項目을 調整하여 使用하게 되며, 長期電源開發의 經濟性評價를 위하여는 計劃樹立基準年度(Refere-

rence Year)를 着工年으로 假定한 不變價格이 利用된 다. 不變價格은 一般的으로 다음과 같이 定義된다.

$$C_{00} = C_0 + C_1 + C_2$$

여기서, C_{00} = 基準年度 不變價格

3. 建設費 算定技法

新規設備의 建設費推定은 技術開發, 經濟·社會 條件에 따라 큰 영향을 받으며, 算定方法에 따라 價格의 差異가 顯著하다. 主된 變動要因은 建設利子, 事業者 費用, 初期燃料費(Initial Fuel Loading), 税金(Tax), 屋外開閉所 및 送電設備(Switch Yard and Transmission) 等이며 이들은 契約方式, 地域特性에 따라 各各 建設費에 包含 또는 不包含됨에 따라 差異가 생긴다. 더우기 各發電設備은 機資材의 所要量, 地域別 人件費

의 差異, 勞動生産性, 建設工期, 發電所 및 附屬建物 의 設計方式, 公害防止에 對한 規制 等에 따라서도 建設費의 推定價格은 變化하게 된다.

가. 算定技法의 概要

그림 2와 같이 實績建設費 資料(Historical Data for Capital Cost)를 蒐集, 整理하고 이것을 經濟·社會 變數 및 制約條件을 감안하여 基準價格모델(Reference Cost Model)을 作成한다. 基準價格모델에는 機器費(Equipment Cost), 資材費(Material Cost) 및 人件費(Labor Cost)를 綜合하여 基本價格(Base Cost)을 作成 하고, 이에 對한 計定項目別 價格을 設定한다. 作成된 價格모델을 電算化하여 電算模型을 開發하며, 電算模型 開發에 應用할 수 있는 投資費曲線(S-curve)의 定 式化, 單位容量量 變化에 따른 設備스케일 係數(Plant

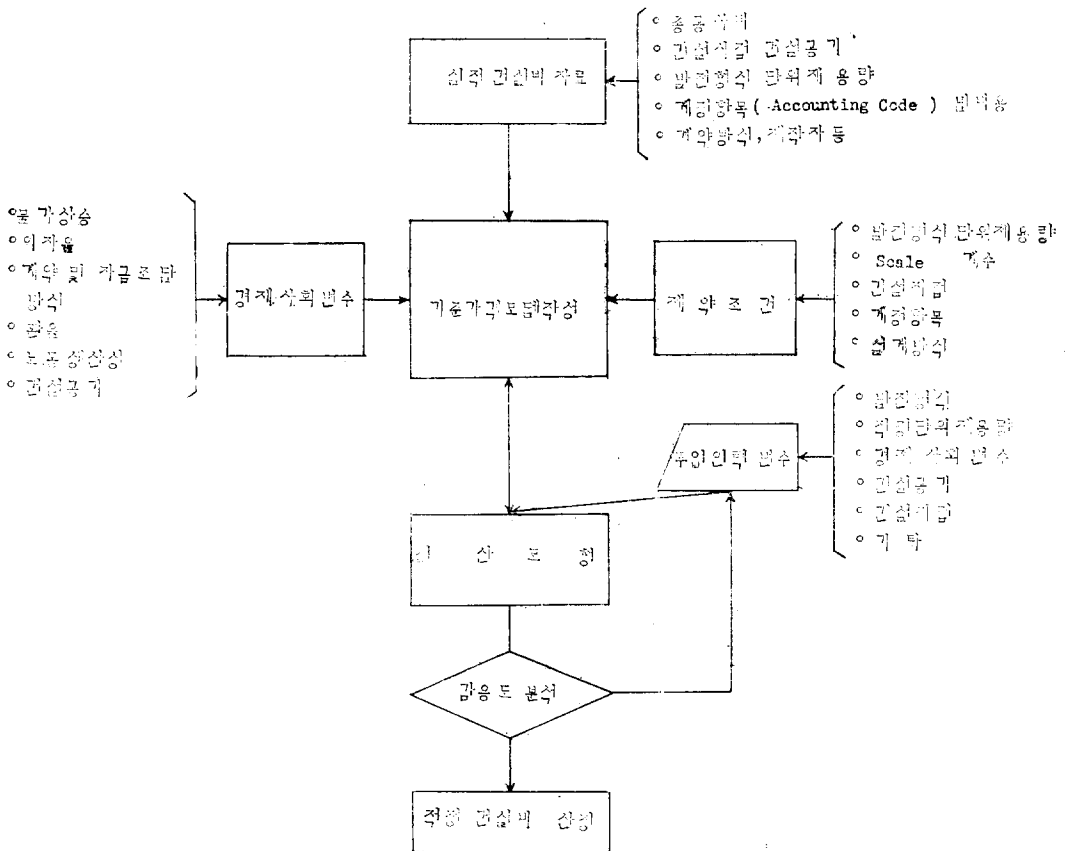


그림 2. 發電所建設費 算定の 概略 흐름도

Scale Factor)의 算定 및 直接費와 間接費에 對한 算法과 物價上昇 및 建設利子에 對한 關聯算法을 開發한다.

新規設備의 建設費 推定은 開發된 電算模型을 利用하여 計劃立案者가 投入한 入力變數에 依하여 算定하게 되며 中間結果를 檢討, 分析하여 單位機容量, 物價上昇 및 利子率에 對한 感應度分析(Sensitivity Study)를 한 후, 가장 妥當한 代案을 採擇하게 된다.

나. 單位機容量 變化에 따른 建設費 算定方法

一般的으로 單位機容量이 增加하면 建設費單價는 低廉하게 되나, 事故率(Forced Outage Rate)이 增加하게 되므로 單位機容量의 決定은 電力系統特性 및 建設費에 따라 制約이 있게 된다. 單位機容量 變化에 따른 建設費의 增減은 “스케일링 法測”(Scaling Law)에 依하여 表示된다.

$$\frac{C_1}{C_2} = \left[\frac{P_1}{P_2} \right]^N$$

여기서,

$C_1, C_2 = P_1$ 機 및 P_2 機의 建設費

$P_1, P_2 = P_1$ 機 및 P_2 機의 單位機容量(MW)

$N =$ 스케일係數(Scale Factor)

스케일係數 N 은 一般的으로 1보다 작은 數值이며 表 2은 原子力(PWR) 및 石炭火力의 스케일 係數를 나타내고 있다.

表 2. 建設費의 스케일係數

Table 2. Scaling Exponents of Capital Cost for Different Plant Type

計定項目 (Accounting Code)	原子力(PWR) (600-1200MW)	石炭火力 (300-800MW)
直接費(Direct Cost)	0.64	0.79
間接費(Indirect Cost)	0.54	0.56
基本價格(Base Cost)	0.6	0.75

다. 建設費 算定에 主要考慮 要素

發電所 建設은 設備 技術特性, 經濟性, 政策方向 等に 따라 建設方式, 規模, 設備特性이 決定되며, 主要考慮 事項은 다음과 같다.

- 技術開發 및 機資材 生産能力 (Technical infrastructure)
- 人力開發, 技術蓄積과 管理能力 (Organizational infrastructure)
- 電力系統規模 및 單位容量 (Grid size and unit size)
- 國產化品目的 範圍 및 價格 (Cost of locally-supplied items)
- 外資導入費(Cost of imported items)
- 安全·環境保全과 認許可節次 (Safety, environment and licensing issues)
- 投資規模 및 借款條件 (Financial condition)
- 資源 및 商工業與件 (Commercial issues)
- 政策方向(Political issues)

以上과 같은 主要 評價要素를 綜合的으로 考慮하여 發電所建設 基本計劃을 樹立하며, 基本計劃의 方向에 따라 建設費가 크게 變化하게 된다. 建設費에 影響을 미치는 要素를 機能別로 살펴보면 技術特性, 規制條件, 經濟與件, 契約方式, 資源 및 商工業與件과 政策方向으로 分類할 수 있으며, 이들의 機能別 細部 檢討內容은 表 3과 같다.

라. 電算模型의 應用

發電型式, 單位機容量, 建設時期와 經濟與件 變化에 依한 建設費의 算定을 위하여는 電算模型이 應用되고 있으며 既開發된 電算模型으로서는 ORCOST, CONCEPT, CONCIDE 등이 있다. 여기서는 長期電源開發

表 3. 發電所 建設費에 影響을 미치는 要素

Table 3. Factors Influencing Power Plant Costs

技術特性	規制條件	經濟與件	契約方式	資源 및 商工業與件	政策方向
· 發電型式 · 單位機容量 · 立地條件 · 機器供給範圍 · 建設經驗 · 設備標準化 · 建設管理能力 및 技術蓄積	· 行政規制 및 認許可節次 · 安全環境保全基準 · 立地 및 社會與件	· 機資材, 人件費, 土地 등 建設費用 · 換率 · 資金能力 · 物價上昇 · 借入條件	· 契約方式 · 物價上昇傾向 · 瑕疵保證	· 去來市場의 形態 · 市場의 規模 · 機器供給者의 多樣性 · 燃料供給方案 · 供給者의 能力 · 銀行借入能力	· 國際動向 · 安全規制의 彈性性 · 技術蓄積 및 交流 · 燃料需給展望 · 經濟·社會寄與度

計劃模型(WASP: Wien Automatic System Planning Package)의 建設費 算定基準에 맞도록 開發된 ORCO-ST 電算模型을 紹介하고자 한다.

ORCOST는 發電所建設費 算定을 電算化하기 위하여 美國의 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 開發된 電算模型으로서 原子力 및 火力設備의 建設費推定이 可能하며, 算定 可能한 發電設備는 다음과 같다.

- 原子力(Nuclear Plants)
 - PWR(Pressurized-water Reactors)
 - BWR(Boiling-water Reactors)
 - HTGR(High-temperature Gas-cooled Reactors)
 - CANDU(Pressurized Heavy-water Reactors)
- 火力(Fossil-fired Plants)
 - COAL(Coal-fired Plants)
 - OIL(Oil-fired Plants)
 - GAS(Gas-fired Plants)

算定方法은 發電設備에 對한 世界市場調査(International Market Survey)를 통하여 調査된 設備別 價格情報를 建設費 計定項目別로 細分하여 프로그램 라이브러리(Program Library)에 貯藏하여 놓고, 프로그램 內에서 計劃立案者가 投入한 入力變數를 參照(Reference)하여 各設備에 對應되는 建設費를 算定하며, 本檢討에서 使用한 價格모델은 1978년에 改正된 模型이다.

4. 建設費 算定基準 및 主要 入力變數

가. 建設費 算定基準

長期電源開發計劃의 建設費 算定基準은 算定方法에 따른 價格 相異를 줄이기 위하여 設定되었으며, 그 基準은 다음과 같다.

- 不變價格 基準(Constant Price)
- 着工時點 基準
- 發電端出力 基準(Gross Generation)
- 建設利子 包含(IDC; Interest During Construction)
- 物價上昇 不包含(EDC; Escalation During Construction)
- 1個地點 2機 同時建設 基準

나. 基準 價格모델(Reference Cost Model)

建設費는 建設地域에 따라 價格差異가 있으므로, 國際市場調査를 통하여 調査된 各地域別 標準建設費를 計定項目別로 價格모델에 內藏하고 있다.

本 檢討에서는 開發途上國의 建設費推定을 위하여 提 供된 價格모델인 INTERTOWN(假想建設地點)의 것 을 基準으로 하였다.

다. 發電型式 및 單位機容量

發電型式은 現在 長期電源開發計劃에서 新規 對象設 備로서 考慮中인 原子力(PWR), 有煙炭火力(COAL), 石 油火力(OIL), 가스火力(GAS)을 對象으로 하였다. 水力, 潮力, 揚水設備는 立地條件에 따라 建設費가 크게 變 化케 되므로 價格의 標準化가 不可能하며, 이들 設備 是 土木工事費가 總工事費의 70% 以上을 占有하게 된 다. 따라서 水力, 潮力, 揚水設備의 建設費는 本檢討 에서 除外하였다.

單位機容量은 우리나라의 電力系統規模, 國內 機器 製作 能力, 建設標準化와 經濟性을 考慮하여 現在 適 正 單位機容量으로 採擇 使用中인 原子力 900 및 1200 (MW), 有煙炭火力, 石油火力, 가스火力은 500 및 900 (MW)級에 對하여 檢討하였다.

라. 着工時期 및 建設工期

着工時期 및 建設工期는 經濟·社會與件 變化에 따 라 增減하게 되므로 建設費 算定에는 重要한 評價要素 로서 作用하게 된다. 建設工期는 建設利子 및 物價上 昇 算定の 基礎資料로서 總建設費에 큰 影響을 미치게 되며, 一般的으로 工期가 延長될수록 建設費는 增加하 게 된다. 設備別 單位機容量 및 建設工期는 表 4와 같 다.

마. 公害 防止設備

最近 社會의 關心의 對象이 되고 있는 環境保全과 關聯하여 火力(石炭火力, 石油火力)의 경우는 脫黃設

表 4. 發電型式別 單位機容量 및 建設工期
Table 4. Unit Size and Construction Period for Different Plant Type

發電型式	單位機容量 (MW)	建設工期 (個月)	備 考
原 子 力	1,200	80	
	900	"	
石炭火力(Coal)	900	42	公害防止設備 附着 한 경우도 算定함
	500	"	
石油火力 (Oil)	900	42	"
	500	"	
가스火力(LNG)	900	42	"
	500	"	

註: 建設工期는 標準工期上 着工부터 竣工까지의 期間임.

備를 設置하는 것을 原則으로 하되, 設置하지 않는 경우도 檢討하였으며, 일반적으로 脫黃設備을 附着하면 建設費가 15~30% 程度 上昇하며 發電原價도 上昇하게 된다.

마. 主要 入力變數

建設費算定の 主要入力 變數는 技術特性 變數 및 經濟·社會 變數로 大別할 수 있으며 이를 變數는 크게 다음과 같이 分類된다.

- 機資材費(Equipment and Material Cost)
- 人件費(Labor Cost)
- 一週當 作業時間(Workweek)
- 一勞動生產性(Labor Productivity)
- 一豫備費 및 豫備品(Contingency and Spare Parts)
- 一利率(Interest Rate)
- 一物價上昇率(Escalation Rate)

以上과 같은 入力要素는 各各의 要素를 評價하는 計劃立案者에 따라 差異가 있으며 많은 不確性要素를 갖고 있다. 여기서는 國際原子力機構(IAEA: International Atomic Energy Agency)에서 世界市場調查를 통하여 調査, 評價된 資料를 土臺로 하고, 先進國 및 우리나라와 開發途上國의 實績資料를 檢討, 分析하여

投入 入力變數를 算定하였으며, IAEA에서 調査, 評價된 先進國과 開發途上國의 價格指標는 다음과 같다. (各項은 先進國과 開發途上國의 價格指標를 比較, 評價한 數值임)

- 機資材 價格指標: 原子力의 경우 開發途上國이 10%程度 高價
- 人件費 指標: 開發途上國이 原子力 40%, 火力 60%程度 低價
- 一間接費 指標: 原子力의 경우 開發途上國이 20%程度 高價
- 一豫備費 指標: 開發途上國이 火力 50%, 原子力 100%程度 餘裕必要
- 一豫備品 指標: 開發途上國이 火力 100%, 原子力 200%程度 餘裕必要
- 一物價上昇率: 先進國 8%, 開發途上國 10%
- 一利率: 先進國 9%, 開發途上國 10%

表 5는 國內外 經濟·社會 與件을 考慮하여 算定한 投入 入力變數의 結果值를 要約한 것이다.

表 5. 建設費 算定을 爲한 主要入力變數
Table 5. Input Parameters of Capital Cost Study

變數項目	設備別原 子 力 石 炭 火 力 石 油 火 力 氣 體 火 力							
	(PWR)	(COAL)	(OIL)	(LNG)				
1. 週當 作業時間(Hr./week)	60	60	60	60				
2. 利率(%/Year)	10.0	10.0	10.0	10.0				
3. 物價上昇(%/Year)								
가. 實設物價上昇*	{ 9, 10, 11 }	{ 9, 10, 11 }	{ 9, 10, 11 }	{ 9, 10, 11 }				
나. 向後物價上昇	10	10	10	10				
4. 勞動生產性(%) 〔先進國=100〕	75	80	80	80				
5. 人件費(%) 〔先進國=100〕	50	40	40	40				
6. 豫備費								
가. 機資材(%)	7.5(5)**	7.5(5)	7.5(5)	7.5(5)				
나. 人 力(%)	15(10)	15(10)	15(10)	15(10)				
7. 機器代(%) 〔先進國=100〕	***110	110	110	110				
8. 基準價格모델	INTER-TOWN	INTER-TOWN	INTER-TOWN	INTER-TOWN				

註) *: 實設物價上昇率(\$ 基準換算值)
 - 國內物價上昇率(76-80): 10.72%
 - 美國 " : 8.96%
 - 國內外加重平均物價上昇率(內外對比率 4:6) : 9.67%
 **: ()內는 先進國 基準值임.
 ***: 假想建設 地點으로서 開發途上國의 建設費算定을 爲하여 選定된 地點임.

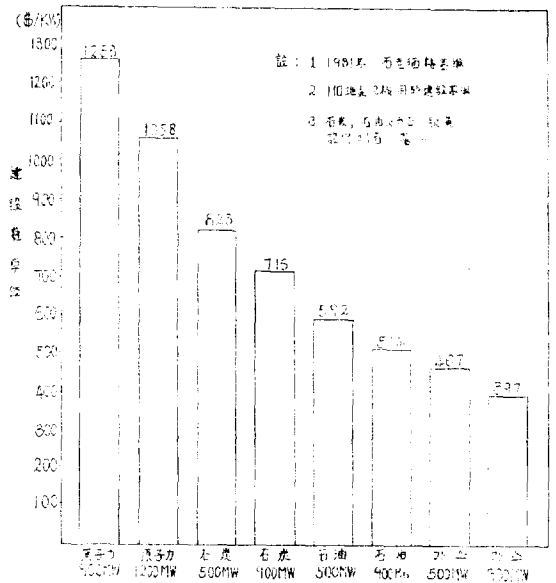


그림 3. ORCOST 模型에 依한 設備別 建設費

5. 建設費 算定 結果分析

以上에서 說明한 建設費 算定方法을 應用하여 ORCOST模型에 依하여 우리나라의 發電設備別 建設費를 算定하였으며 投入 入力變數는 4章에서 說明한 資料를 利用하였다. 그림 3은 ORCOST 算定 結果를 基礎로

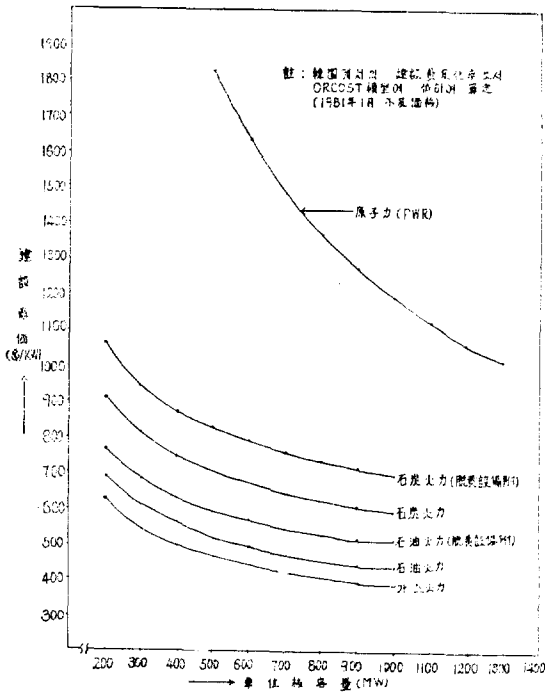


그림 4. 設備別 單位機容量에 따른 建設費變化

長期電源開發計劃 入力算定을 위한 建設費 算定基準 (「4章가」項 參照)을 適用하여 設備別 建設費를 算定한 것이다. 本 結果는 新規設備의 建設費를 價格 모델에 依하여 概念的 推定을 試圖하여 作成된 것이므로 實際 發電設備의 建設費와는 多少 差異가 있을 수 있다. 이것은 契約方法, 資金調達 方法, 設備 自動化範圍, 物

價上昇, 技術開發, 安全·環境保全 規制範圍 等 技術, 經濟·社會 與件의 相異에 따른 것이다. 그러므로 本 結果는 新規設備의 建設費推定을 하는데 指標로서 利用될 수 있으며, 個別 設備에 對한 實建設費는 各設備의 여러가지 特性에 따라 評價하여야 할 것이다.

그림 4는 設備別 單位機容量 變化에 따른 建設費를 圖示한 것으로서 原子力의 경우는 單位機容量이 增加할수록 建設單價(\$/kW)는 급격히 節減된다. 火力의 경우는 200~500(MW) 範圍에서는 建設費가 상당히 節減되나, 500~1000(MW) 範圍에서는 節減의 程度가 緩慢하다. 따라서 그림 4를 利用하면 單位機容量 增減의 得失을 算出할 수 있으므로, 系統의 特性上 許用되는 適正 單位機容量을 決定할 수 있다.

6. 結 論

發電所 建設費의 推定은 前述의 理論的 算定뿐만 아니라, 地域特性, 經濟·社會 與件에 따라 影響을 받게 되므로 計劃立案者는 電力事業의 周邊與件을 신중히 考慮하여 算定하여야 한다.

過去의 建設費算定은 國內外 實績資料에 依한 概念的 推定에 依하여 算定하였으므로 單位機容量의 變化, 算定基準 設定에 따른 價格差異 分析 等 많은 어려움이 있었으나, 現在는 ORCOST 模型에 依하여 建設費를 算定함에 따라 經濟性, 技術特性을 考慮한 推定이 容易하게 되었다. 그러나 價格 모델 作成에 必要한 關聯資料의 整備와 理論開發이 미흡한 상태이므로, 이와 같은 分野의 評價, 分析을 위한 關聯資料의 整備 및 標準化와 理論의 研究·開發에 注力해야 할 것으로 思料된다.

會 員 動 靜

鄭 然 澤理事는 미국·카나다에 대학생 해외연수 인솔차 출국(7.24)

姜 鎰 文會員은 日本東京大學에 研究次 출국(7.23)

任 達 鎬理事 는 동남아로 대학생 해외연수 인

솔차 출국(7.24)

郭 勳 星會員은 미국 텍사스 주립대학에 유학차 출국(7.29)

李 民 濟 金正夫會員은 IEEE PES Summer Meeting에 참석차 출국(7.20)