

《해설》

## 原子力發電所の計劃과 建設(1)

車 宗 熙

韓國原子力研究所

### 1. 序 論

最近의 에너지波動以後 原油價格은 4배나 上昇하고 있으며 反面 에너지需要는 繼續 增加되고 있다. 世界化石燃料資源은 40~400 Q( $1\text{ Q}=250\times 10^{15}\text{ kcal}$ )로 推定하고 있으며 오늘날 世界의 年間 消費量은 0.25 Q를 나타내고 있다. 化石燃料資源의 枯渴이 지금 당장은 時急한 問題같지 않으나 現在까지의 年間 에너지 消費增加率인 5%를 4%로 減少한다 하더라도 40 Q의 경우 50年 400 Q의 경우 100年의 짧은 壽命을 갖는 것이다. 따라서 化石燃料와 別途로 새 에너지資源을 開發하는 일은 重要한 問題이며 그中 核分裂에 의한 原子力은 主導的 새 에너지源이 될 것이다.

1955年의 제네바會議以後 20年동안 原子力發電分野에서는 놀라운 發展이 이루어져 왔다. 첫 10年間, 即 1955~1965年 동안은 將來를 期約할 수 있는 몇가지 原子力發電所系統에서 原型으로 부터 商業發電所로 移讓하는 架橋役割의 期間이었고 다음 10年間, 即 1965~1975年동안은 先進工業國家에서는 大形の 原子力發電所를 開發하고 몇몇 開發途上國家에서도 原子力發電所를 建設, 運轉이 이루어진 急速成長期였다.

이를 數字로 表示한다면 1955년에는 世界의 2個 國家에서 2機의 原子爐가 建設되어 總容量 7.4 MWe (MWe;  $10^6\text{ watt}$  電氣出力)의 發電이 이루어졌고 1965년까지에는 9個 國家에서 66機의 原子爐가 建設되어 總容量 7,000 MWe에 到達하였고 1975년에는 19個 國家에서 220個所의 發電所가 建設되어 總發電容量은 92,000 MWe가 되었으며 1980년까지는 26個國에서 400機의 發電爐가 運轉되어 總發電容量은 250,000 MWe에 達할 豫定이다.

에너지波動以前까지는 經濟成長率로 보아 年間에너지需要增加率은 4~5%이고 電力消費增加率은 7~8%가 推算되어 왔다. 先進工業國家들은 위의 成長率이 維持

되어 왔으며 一部 成長이 빠른 開發途上國家에서는 위의 값을 얼마간 上廻하여 왔다. 1973年 10월부터 1974年 2월에 걸쳐, 世界 原油價格이 急作히 上昇하였다. 아랍地域產의 原油價格은 배럴當 10弗을 上廻하고 있으며 在來式 에너지資源에 의거한 에너지 需要供給의 豫測이 困難視되었다. 이에 따라 石油에 依存하지 않는 에너지開發問題가 深刻히 擡頭되기 始作하였다.

아마도 未開發 水力資源과 石炭資源이 豊富한 몇個國을 除外하고는 原子力이 化石에너지에 代身하여 增加되는 에너지需要를 充當하게 될 것이고 1980年以後 原子力發電은 基本電力供給源으로서 電氣供給容量의 相當部分을 차지할 것이다. 여러가지 資料들<sup>1,2,3)</sup>을 綜合하면 向後 25年間的 世界的 原子力成長 推定の 最大值를 보면 1980년까지 250,000 MWe, 1985년까지 663,000 MWe 1990년까지 1,355,000 MWe 그리고 2000년에는 3,600,000 MWe의 發電容量이 豫測되고 있다.

이와같은 原子力の 需要展望에 비추어 原子力發電所建設이 推進되어야 할 것이며 高度의 技術水準과 安全이 必要한 原子力發電所 建設의 合理的 計劃과 施行은 무엇보다 重要한 當面問題라고 할 수 있다. 여기서는 初期 電力系統의 計劃으로 부터 始作하여 原子力發電의 妥當性調査, 發電所 敷地調査의 必要성과 內容을 記述하고 發電所 購買을 위한 豫備活動에 對한 內容, 方法과 購買段階에서의 入札, 契約, 認許可等 一連의 活動內容을 論하고 나아가 建設事業의 推進內容을 記述하여 앞으로 이 分野에 從事하는 이들에게 參考가 되고자 하는 것이다. 表 1은 첫번째 原子力發電所를 建設하는 경우의 年次的 施行內容의 一例를 表示한 것이다.

### 2. 電力系統의 調査, 計劃

原子力發電所の 建設計劃以前에 國家의 自然資源, 經濟成長等を 基礎로 한 에너지需要供給計劃이 樹立되어야 할 것이며 이에 따라 電力計劃이 樹立될 것이다. 그

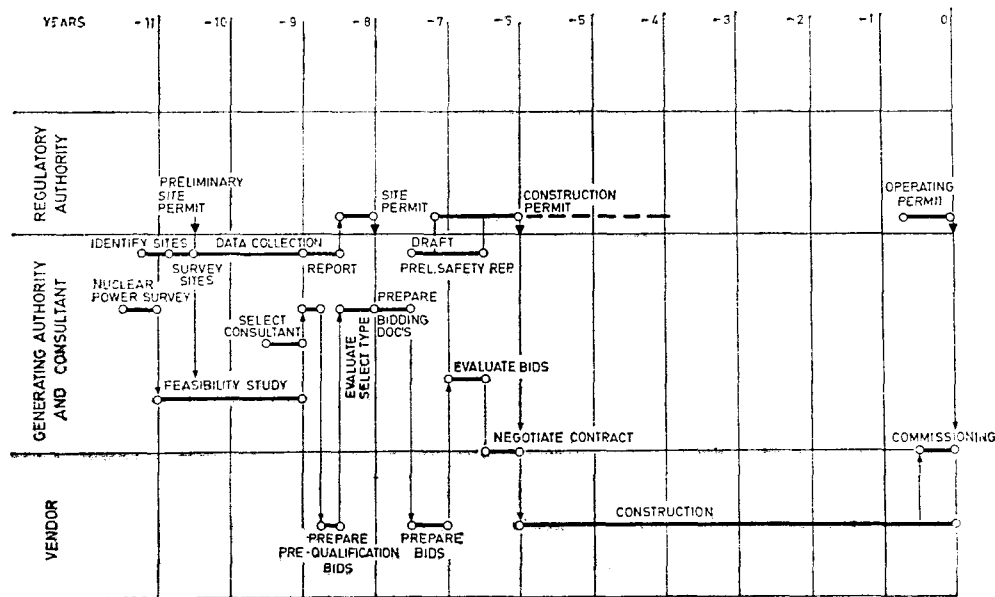


表 1. 原子力發電所의 計劃과 建設의 마일스톤

리고 電力計劃案에 原子力發電이 차지하는 容量을 決定 하여야 할 것이다. 이와같은 基本的 電力計劃과 이에 隨伴하는 原子力計劃을 樹立하는 段階가 있어야 하며 이것은 原子力發電所 建設計劃에 關한 앞서야 할 것이며 이 基本的 原子力計劃은 다음과 같은 基本調査가 必要하게 될 것이다.

가. 國家의 經濟的 背景: 人口增加率, 國民總生産, 過去의 에너지消費量 등의 調査가 이에 包含된다.

나. 國家에너지資源: 水力, 石炭, 石油, 天然가스, 우라늄 등 自然에 存在하는 에너지資源의 量的 調査가 必要할 것이다.

다. 電力系統開發: 過去의 歷史的 電力成長過程과 現在의 發電, 送電施設을 調査하여야 할 것이다.

라. 電力需要豫測의 檢討: 政府 또는 電力會社가 세운 既存의 假想的 電力需要供給 豫測을 再檢討한다.

마. 電力需給計劃의 分析 및 樹立: 위의 調査結果를 土臺로 適切한 計算코오드에 의하여 電力計劃과 이에 따른 原子力發電計劃을 分析한다. 國際原子力機構에서는 이에 必要한 電子計算코오드로서 WASP<sup>①</sup>를 推薦하고 있다. 以上の 各項目에 對하여 國際原子力機構 調査團이 파키스탄에서 實施한 調査內容<sup>②</sup>을 根據로 具體化 하면 다음과 같다.

#### 가. 經濟的背景의 調査

이것은 다음 事項들을 包含한다.

#### (1) 地理的 特性調査

面積, 隣接國家의 關聯, 山岳地域과 平野의 分布, 季節의 變化, 降雨量等 氣象學의 調査

#### (2) 人口調査

現人口의 크기, 出生率 및 增加率의 趨勢를 調査한다

#### (3) 國家經濟

(가) 國民總生産: 最少限 過去 10年間の 國民總生産 實態와 增加率을 調査한다.

(나) 鑛物資源: 지금까지 探查된 國內 主要 鑛物資源을 調査한다.

(다) 工業生産能力과 그 成長率: 過去 數10年間の 工業分野別 年間 生産量과 그 增加率을 調査한다.

#### (4) 過去 및 現在의 總에너지消費量

最少限 過去 10年間の 에너지消費量을 統計의으로 調査하고 年間增加率을 計算한다.

#### 나. 國內에너지資源의 調査

(1) 水力包藏量調査: 現水力發電量과 包藏量을 調査하고 아울러 最高 季節의 流量變化, 流量中 灌溉目的用과 電力目的用의 推定量, 最高 濁流率을 調査한다.

(2) 石炭: 埋藏石炭量 및 그 質을 炭種別로 調査한다

(3) 天然가스: 過去의 天然가스生産, 消費量 및 그 增加率을 調査한다.

(4) 石油: 推定 石油埋藏量 및 年間消費量을 調査한다.

(5) 우라늄 및 토륨資源: 現在까지 探索된 우라늄 및 토륨의 埋藏量 및 含量을 調査한다.

#### 다. 電力系統開發의 調査

(1) 電力産業의 組織: 國家의 見地에서의 電力事業과의 關聯된 産業體를 調査하고 原子力關係 事業組織을 調査한다.

(2) 電力生産增加率: 過去 20—30年間的 電力增加趨勢, 運轉實績, 電力그릿(grid) 狀況等を 調査한다.

(3) 發電所施設: 水力, 火力, 가스터어빈, 原子力別의 施設實態를 調査한다.

(4) 水力發電의 既存施設 및 開發計劃: 既存 水力發電所의 數, 容量과 將次 建設될 水力發電 內容을 調査한다.

(5) 送電그릿: 各 地域別그릿를 調査한다.

(6) 將來의 發電 및 送電系統의 計劃: 現在 計劃되어 있는 發電所 建設計劃과 送電施設計劃을 스케주율과 함께 調査한다.

#### 라. 電力需要豫測의 檢討

政府, 電力會社, 其他機關에서 研究調査한 電力需要供給 豫測을 再檢討한다.

電力需要豫測에 對하여는 Aoki의 方法<sup>6)</sup>이 一般的 調査에 適當하다고 보고 있다. 이 方法은 117個國의 歷史的 電力需要成長過程을 對數紙에 그려 이로부터 一般的 豫測曲線을 導出한 것으로 GNP에 따라 豫測曲線이 定하여 지도록 되어 있다. 그러나 Aoki의 方法은 解析內容이 없기 때문에 다만 概略的 傾向을 아는데 適合한 것이다.

#### 마. 電力系統의 計劃

原子力을 包含한 電力系統計劃의 作成에 對하여 國際原子力機構에서는 美國의 TVA(Tennessee Valley Authority)와 原子力委員會가 共同開發한 原子計算코오드인 WASP를 使用할 것을 勸告하고 있다. 다음에 WASP에 의하여 얻을 수 있는 內容과 이에 必要한 인풋(input)를 記述한다. 먼저 WASP에 의하여 遂行할 수 있는 6個의 基本프로그램은 다음과 같다.

(1) 計劃期間中の 電力系統에서의 季節的 最高負荷와 負荷期間曲線의 豫測

(2) 現在의 電力系統, 將次 追加되는 電力系統 및 閉鎖되는 電力系統의 計劃作成

(3) 將次 增設되는 電力系統에서 考慮되어야 할 發電所의 여러가지 形式 및 容量의 決定

(4) 各年度別로 增設되는 發電所의 構成, 即 容量,

#### 型 및 時期의 評價

(5) 各年度에서 構成되는 電力系統의 運轉시뮬레이션(simulation)(各 發電機에서 運轉, 發生되는 에너지量을 各年の 4分期別로 計算), 負荷喪失의 確率計算

(6) 增設計劃을 包含하여 2000년까지의 發電原價(모든 發電所의 運轉費, 資本費)를 現在價値(present-worth)法으로 計算한다. 이 計算에서 WASP는 動的프로그램 最適化에 의하여 여러가지 發電의 擴充計劃의 最小現在價値를 計算하여 준다.

위의 計算을 위하여 必要한 WASP 프로그램의 인풋트는 다음과 같다.

(1) 電力負荷의 明細

(2) 固定發電所데이터; 水力, 火力, 原子力等 發電所의 明細, 燃料價格, 代替될 發電所의 內容, 負荷順序等이 包含된다.

위의 WASP에 의한 計算은 電力의 長期計劃의 프레임을 作成하여 주며 이 長期計劃에 必要한 增設發電所의 容量, 型 및 時期를 定하여 준다. 이 計劃案에 原子力 發電所 計劃이 包含될 것이다.

### 3. 原子力發電의 妥當性調査

原子力發電所 建設의 妥當性調査는 事業을 確實하고 올바르게 遂行하기 위하여 必要한 技術, 經濟性 및 財政의 諸關係를 깊이 있게 調査하는 일이다. 이 妥當性 調査에 앞서 事業의 浪費를 막기 위하여 豫備調査가 必要한데 이 豫備調査에서는 原子力이 電力系統計劃에서 信賴性을 갖는가에 對한 基礎調査가 이루어지는 것이며 이에 對하여는 앞에서 言及한바 있다.

本格的 妥當性調査는 다음事項에 관한 決定을 내리는데 必要한 情報을 마련하는데 그 目的이 있다. 即

(1) 原子力發電所建設에 對한 入札段階에 들어 갈 것인가.

(2) 入札形式, 原子爐, 原子爐製作業體의 決定

(3) 原子力發電所의 主要特性

(4) 敷地

(5) 事業의 日程

妥當性調査는 다음의 內容을 갖는다.

가. 技術調査

나. 經濟性檢討

다. 財政上の 妥當性分析

#### 가. 技術調査

妥當性調査의 첫段階는 經濟性 및 財政評價를 遂行하

는데 充分하고 仔細한 原子力發電所의 모든 特性을 決定하는 것이다. 原子力發電所設計의 決定은 經濟的評價가 받아들여졌을 때 이를 수 있으며 이것은 入札明細를 作成하는데 必要하기도 하다. 이 調査를 하는 데는 適當한 原子爐型, 原子力發電所와 連結되는 電力系統의 舉動 및 有力한 發電所 敷地調査 등이 包含될 것이다. 이 調査에서 얻은 原子力發電所의 設計 및 經費에 對한 結果는 다음의 經濟性檢討에서 使用될 것이다.

#### (1) 系統調査

原子力發電은 在來式發電에 比하여 規模가 크기 때문에 妥當性調査의 첫 부분으로서 年中 여러가지 季節과 每日의 時間마다의 電力系統에 對한 負荷追從을 調査하게 된다. 이 調査에서 必要한 送電系統의 強化도 同時에 이루어져야 할 것이다. 여기서 原子力發電이 中斷되었을 때의 負荷追從도 點檢되어야 한다. 負荷追從調査의 結果는 敷地選定에도 크게 影響을 준다.

正常狀態에 對한 調査와 함께 原子力發電과 連結된 電力系統의 過渡的 安定性도 調査되어야 할 것이다. 安定性調査는 모든 可能한 電力攪亂 原因에 對하여 實施한다.

그 다음에 原子力發電所가 全發電量의 稼動中 電力의 全部를 喪失하였을 때의 安定性을 調査하여야 한다. 이것은 電力系統에 連結된 다른 發電所의 調速機特性에 크게 의지하게 되는 것이다. 電力系統安定성에 影響을 주는 原子力發電所의 容量이 다른 큰 發電所의 電力喪失이나 이 電力系統이 供給되는 臨界送電系統의 喪失에 對하여 點檢되어야 할 것이다. 이와 關聯하여 負荷의 段階的變化에 對한 能力이 서로 틀리는 다른 原子爐型의 基本的特性과 制御系統에 의하여 修正할 수 있는 基本的特性도 調査하여야 할 것이다. 그밖의 調査로서 經濟性에 影響을 주는 原子力發電所의 統計的 負荷係數, 原子力發電所와 다른 發電所의 負荷係數와의 關係 및 送電系統喪失이 주는 經濟性的 調査 등이 이루어져야 한다.

#### (2) 敷地調査

原子力發電所가 建設될 敷地에 對하여 基礎條件, 斷層, 地震, 冷却水源, 補充水, 可能한 地下水의 汚染, 氣象條件, 人口密度 및 그 地域에서의 地域的 危險性과 開發計劃 등에 관하여 調査가 이루어져야 한다. 이것은 2個所以上の 場所에 對하여 遂行되어야 할 것이다. 더욱 詳細한 論議를 다음 章에서 記述하기로 한다.

#### (3) 原子爐型의 特性調査

여러가지 原子爐型에 對하여 다음의 觀點에서 調査가 遂行되어야 할 것이다.

- 可能한 容量의 範圍
- 出力과 價格의 關係
- 負荷追從能力
- 電力系統安定성에 미치는 影響
- 燃料裝填 및 補修에 따르는 運轉中斷
- 2重目的이면 그 妥當性
- 信賴性和 運轉經驗
- 우라늄濃縮 및 其他 特定材料(重水, 헬륨, 토륨 등)

의 必要性

- 安全性 및 認許可取得 可能性
- 發生하는 放射性廢棄物
- 液體 및 氣體流出物
- 環境에 주는 影響
- 運轉員에 對한 放射線被曝
- 運轉要員の 充足事項
- 部品製作에 對한 國產化可能性
- 重量級部品에 對한 輸送問題
- 壽命을 마칠 때의 施設撤去容易性

#### (4) 關聯되는 터빈發電施設의 特性

터빈의 特性은 原子爐型의 選定에 달려 있다. 輕水爐의 경우의 터빈은 飽和蒸氣를 使用하게 되며 低速으로 回轉하고 熱効率は 낮으며 冷却水는 高温가스爐의 경우보다 50%나 더 要求된다. 速度가 틀리던 系統의 安定性問題에도 影響을 준다. 어떤 경우에 있어서는 單一原子爐에 對하여 2基의 작은 터빈을 連結하여 信賴性을 높일 수도 있을 것이다. 이것은 또한 때로 發電所의 出力을 減少시키어 運轉할 必要가 있을 때 便利할 것이다. 2重目的의 發電所도 考慮할 수 있는데 이것은 原子爐의 熱出力의 一部를 海水淡水化目的 또는 工業的 熱源의 目的으로 使用하는 것이다.

#### (5) 參考發電所의 設計

重要한 일의 하나는 選定된 敷地에서의 參考發電所의 設計를 決定하는 것이다. 이것은 가장 가까운 爐型과 容量에 對하여 遂行하여야 할 것이다. 詳細程度는 경우에 따라 다르나 最少限 敷地選定, 經濟性 및 系統의 安定性에 對한 資料는 마련되어야 할 것이다. 이것은 또한 다음段階에서의 入札示方書의 準備가 되기도 한다. 이를 위한 豫備設計의 調査로서는 다음事項이 施行되어야 할 것이다.

- 所有者(電力會社)의 要求에 맞는 敷地에의 發電所에 對한 레이아웃(Layout)
- 發電所의 特性을 安全性, 運轉을 위한 接近容易性, 裝置의 多重性, 火災防護 등의 見地에서 檢討,
- 主, 補助冷却水, 敷地進入 및 送電連結 등을 마련

한 敷地隣接地域의 스케치

- 經費推定에 대한 健全한 根據의 提供
- 基礎設計에 對한 資料準備을 위한 敷地詳細調査
- 所有者에 對한 發電所評價資料提供

(6) 核燃料 사이클 評價

核燃料사이클은 原子爐型이 따라 다르다. 例컨데 商用의 輕水爐는 모다 濃縮우라늄을 使用하며 使用이 끝난 燃料는 再處理하여 이때 생기는 플루토늄은 再使用한다. CANDU와 같은 重水型原子爐는 天然우라늄을 使用하며 使用이 끝난후 再處理하지 않는다. 最近의 高溫가스爐에서는 높은 濃縮우라늄과 토륨을 使用하며 여기서 생기는 U-233를 피이드백(feed back) 시킨다. 이와같은 原子爐의 特色은 어느곳에서나 같으나 地域的으로는 資源의 供給, 貿易, 政治等이 따라 그곳 特有의 다른 核燃料사이클을 擇할 수 있다. 技術評價는 그나라가 好意的으로 選擇한 核燃料사이클에 對하여 定量的으로 附加되는 經費, 또는 危險性等에 對하여도 調査되어야 할 것이다.

(7) 技術調査의 結果

技術調査의 結果를 土臺로 經濟調査의 根據가 되는 發電所 全貌에 걸친 設計가 이루어 질 것이며 事業이 進涉됨에 따라 示方書가 作成될 것이다. 이와 關連되는 主要事項은 다음과 같다.

- 國際的 또는 國家的 安全規制가 適用되며 地域의 要求事項에 符合하는 方法.
- 認許可節次를 다루는데 必要한 組織
- 所有者가 必要로 하는 技術要員 및 이의 訓練
- 所有者가 必要로 하는 外部專門家
- 事業을 遂行하는데 必要한 地域의 工業의 功獻

나. 經濟性調査

妥當性調査에 있어서 經濟性部分은 普通 見解에 따라 原子力發電事業의 魅力이 變할 수 있으며 所有者(電力事業者)와 政府 또는 社會의 見解는 서로 다를 수 있다. 一般的으로 事業의 利得과 그 經濟性은 正確히 一致하지 않는다.

事業者의 立場에서는 原子力發電事業을 技術的 經濟的 및 財政的 見地에서 短期, 中期 및 長期投資와 運轉計劃을 세워야 할 것이다. 이를 위하여 原子力發電事業을 計劃하는데 있어 考慮할 事項은 다음과 같다.

(가) 事業은 動的이어야 한다.

(나) 다른 같은 目的의 原子力發電所와 比較되어야 한다.

(다) 事業의 技術檢討와 함께 經濟 및 財政問題도 檢

討되어야 한다.

原子力事業은 資本集約事業이며 이것은 그 나라의 經濟開發에 相當한 影響을 주게 됨으로 이 事業이 그 나라의 長期經濟政策에 알맞으며 또 國民所得의 再分配 또는 다른 小資本產業들이 그 社會의 電力消費에 滿足스럽게 適用되는가를 檢討하여야 할 것이다.

原子力發電所建設事業은 資本集約的일 뿐만 아니라 運轉中の 燃料經濟性, 環境 및 安全性, 그리고 그 나라의 經濟 및 政治의 獨立程度等에 對하여도 考慮되어야 할 것이다.

經濟性檢討의 主目的은 原子力發電事業의 經濟的, 財政的 妥當性을 立證하는데 있으며 이것은 이 事業과 關聯되는 政府機關, 財政機關에서의 判定의 根據가 될 것이다. 다음에 經濟性妥當性調査의 概要<sup>7)</sup>를 論하기로 한다.

(1) 電力 및 에너지需要調査

이 調査는 現在의 電力需要의 特性과 이것에 미치는 因字를 分析하는 것이 包含된다. 여기서 앞章에서 다른 豫備電力系統分析에서의 短期, 中期 및 長期의 電力需要展望調査內容이 活用, 檢討될 것이다. 이 調査는 電力負荷特性의 構造, 即 日間 및 年間 負荷係數, 負荷同時發生, 季節 및 日間負荷變動 및 그 將來豫測等이 包含될 것이다.

(2) 現在의 電力系統의 分析

既存發電所 및 送電施設의 將來需要에 對한 參與가 檢討될 것이다. 主要發電所들에 對한 技術的條件, 稼動容量, 補修計劃 및 殘餘壽命이 評價된다. 그 다음에 既存發電所와 送電線의 經濟的 特性, 特히 使用이 따른 部品經費가 檢討된다.

電力需要豫測量과 現存容量과의 電力不足量은 調査中에 있는 原子力發電所와 다른 發電所의 組合으로 充當하거나 또는 完全히 非原子力計劃에 의하여 充當하거나 한다. 이 方法을 위하여 모든 型의 發電所의 技術的 및 經濟的特性이 研究되어야 할 것이다.

(3) 原子力發電所의 特性調査

原子力發電所의 經濟는 化石燃料을 使用하는 發電所에 對하여 알려진 一般指針에 따라 展開할 수 있다. 모든 價格은 다음 範疇內에서 總額 및 年間額으로 明細가 作成된다.

- 資本經費(10<sup>8</sup> 貨幣單位)
- 燃料經費(年間額)
- 其他 運轉 및 補修經費(年間額)

資本經費는 단 한번 생기며 보통 常用運轉以前의 施設經費로 制限한다. 資本經費는 다음 두가지로 分類된다

(가) 直接經費: 土地價格 및 그 權利費, 發電所施設物價格(構造物, 原子爐施設, 터어빈, 電氣裝置, 豫備部品 및 雜費)

(나) 間接經費: 建設에 所要되는 施設, 裝置의 經費 및 建設管理의 經費, 建設期間中 利子 및 建設中의 에스칼레이션.

이들 價格은 常用運轉에서의 原子力發電所 總經費의 形式으로 構成된다.

燃料經費는 運轉에 所要되는 燃料을 天然우라늄으로 하였을 때의 量과 回收되는 우라늄 및 플루토늄, 그리고 放射性廢棄物處理等의 經費에 따른다. 燃料經費는 또한 原子爐型에 따라 變할 수 있다. 原子力發電所의 總燃料週期經費는 우라늄 1kg 當의 額數로 表示하며 그 內容은 다음과 같다.

○ 우라늄價格(採鑛, 抽出, 變換, 濃縮包含)

○ 加工(輸送費包含)

○ 燃料再處理(輸送 및 廢棄物處理經費包含)

○ 回收되는 우라늄 및 플루토늄에 對한 크레딧(credit)

發電單價의 單位는 發電量 kwh 當 額數로 表示되며 번업(burnup)은 우라늄 1톤當의 MWD 로 한다. 燃料經費의 計算은 一般的으로 複雜하여 特別한 研究가 必要하다.

運轉 및 補修經費는 勞賃, 材料費, 補修費, 修理費, 保險 및 流動資本을 包含한다. 여기서 補修 및 修理經費를 除한 나머지가 運轉經費가 된다.

#### (4) 在來式 發電所의 經濟特性調査

原子力發電과 함께 다른 在來式 發電所에 對한 調査도 하여야 할 것이다. 이들은 最大電力需要를 增加시키는 目的은 같으나 基本負荷에 對하여는 다르다. 예컨대 가스터어빈이나 디젤發電所는 피이크負荷時에만 運轉되며 化石燃料發電所는 中間役割을 하게 될 것이다. 水力發電은 水量供給特性에 따라 넓이 變化하는 負荷에 對하여 運轉하게 된다.

이들 在來式發電所의 負荷係數는 여러가지로 다르기 때문에 이들과 組合하는 完全한 電力系統의 分析이 必要하게 되는 것이다.

#### (5) 送電施設의 特性

送電施設은 電氣에너지를 發電所로 부터 消費中心으로 連結하는 것으로 各 電力事業의 綜合部分이기도 하다. 運電施設의 技術의 特性, 即 送電容量, 電壓, 길이, 斷面積, 線의 型, 에너지損失等이 技術調査에서 이루어져야 한다. 經濟性調査에서는 關聯되는 投資經費, 運轉 및 補修經費 및 送電施設에서의 에너지損失이 主要內容

이 된다.

#### (6) 關聯性分析

새로운 電力事業의 投資決定은 새로운 原子力, 水力 및 火力의 技術, 經濟 및 運轉等特性과 함께 既存系統의 投資構造, 即 過去의 投資決定에 달려 있다.

오늘의 決定은 또한 將來의 投資決定에도 影響을 줄 것이다. 電力增加에 따른 여러가지 型의 發電所의 增設 新은 發電所의 代替等 計劃은 最適開發計劃에 맞도록 세워야 할 것이다. 이와같이 새로운 計劃은 過去, 現在 및 將來의 計劃과의 一貫性을 考慮하여 動的見地에서 調節되어야 할 것이다.

#### (7) 原子力發電事業의 最適化 및 評價

電力計劃의 複雜性과 系統分析의 必要에 따라 最近의 電力事業計劃은 數學的모델을 適用하여 分析하는 傾向이 있다. 最適化를 위한 모델은 다음의 것이 있다.

(가) 시뮬레이션 모델: 미리 決定된 投資計劃에 根據를 둔 系統 運營의 最適化

(나) 인테그레이티드 모델: 投資計劃과 運轉모우드를 同時에 最適化

여기서 一般的 經濟資料, 即 資本費, 比較期間, 經費 에스칼레이션을, 調査事業의 期間等を 考慮하여야 한다. 이 評價分析은 다음의 結果를 얻을 수 있을 것이다.

○ 電力系統의 增加에 必要한 經濟的 原子力發電과 이와 組合되는 가장 適當한 在來式發電

○ 最適과라미터, 即 施設容量, 發電所의 數 및 크기

○ 原子力發電이 妥當성이 없다고 볼 때의 다른 方法

○ 建設事業의 時期, 發電開始時期

○ 施設하여야 할 在來式發電所의 容量

○ 새로운 原子力發電이 編入되었을 때의 全體 電力系統의 運營

○ 原子力發電所를 建設하였을 때 피이크負荷時 이를 補完시켜 주는 補助發電所

○ 全 擴充計劃의 스케줄

#### 다. 財政分析<sup>8)</sup>

財政分析은 原子力發電事業의 自己償還能力을 立證하고 事業完了後의 財政的 義務를 다할 수 있는 能力을 얻게 된다. 財政分析은 다음의 分野가 包含된다.

○ 原子力發電事業에 所要되는 財政

○ 事業의 財政的 妥當性

#### (1) 事業에 所要되는 財政

이것은 事業의 總資本費와 發電所 運轉初期동안의 流動資本의 包含된다. 所要財政은 外資와 內資로 分類하여 明細가 作成되어야 한다.

總資本費는 建設期間과 에스칼레이션에 直接 關聯된다. 따라서 財政計劃은 建設中에 豫想되는 價格의 上昇係數를 策定하여야 한다. 또한 事業遂行의 遲延으로 因한 影響을 考慮한 補充財政計劃도 세워 두어야 한다. 所要財政은 經費豫測錯誤로 因한 經費도 策定되어야 할 것이다.

#### (2) 財政의 妥當性

原子力發電事業의 財政의 妥當性의 立證은 事業終了時 最小限 10年間の 利子, 負債를 包含한 運轉, 補修經費를 充分히 報償하는 電氣販賣價格으로 얻어질 것이다 이를 위하여 電力事業者는 다음의 基本資料를 마련하여야 할 것이다.

- 收入說明書
- 財源 및 基金使用의 收支計算書
- 總 收支計算書

#### (3) 財政의 妥當性의 試驗

原子力發電事業의 財政의 健全性을 보여 주기 위하여 다음 事項을 調査한다.

- 運轉中 平均 資産의 償還
- 內部 現金發生에 因한 負債償還의 回收
- 純益에 對한 負債의 比率
- 收入에 因한 利子償還回數
- 償還期間
- 內部 外換率

事業施行에 따른 財政의 危險性을 調査하기 위한 正確性分析이 遂行되어야 하며 特히 에스칼레이션의 影響投資 및 運轉經費, 事業의 여러가지 財政의 모우드, 電力事業者의 料金政策等이 調査되어야 하고 事業의 財政의 妥當性을 條件지어 주는 因子들의 最適值를 調査하여야 할 것이다.

### 4. 原子力發電所 敷地의 選定

原子力發電所建設을 위한 敷地選定의 基準은 一般的으로 在來式發電所와 類似하다. 그러나 燃料輸送問題가 簡單하고 原子爐의 使用으로 因한 特別한 安全性問題를 考慮하여야 하는 差異點이 있다. 敷地의 適合性을 考慮할 때 먼저 問題視되는 것은 電力이 必要한 場所가 어디에 있느냐이다. 電力負荷의 中心이 어디에 있고 既存送電線을 어떻게 끌어 올 것인가를 考慮하게 될 것이다. 經濟的見地에서는 되도록 電力負荷場所에 가까워야 할 것이고 原子力安全性의 見地에서는 되도록 電力所要地로부터 멀어져야 하는 相反되는 問題가 敷地選定을 놓고 論議되기도 한다. 그밖의 考慮할 重要事項으로서 冷

却水의 供給問題, 基礎條件等이 있다<sup>1)</sup>.

여기서는 原子力發電所와 그 敷地사이의 여러가지 關聯問題를 들고 考慮되어야 할 主要因子들의 影響을 論議하여 敷地評價의 參考를 提供하고자 한다.

#### 가. 建設과 運轉에 對한 適合性

##### (1) 地 形

敷地의 地形은 重要하며 發電所建設에 所要되는 重量級施設을 運搬하는데 便利하여야 할 것이다. 普通 建設段階에서 現場에 搬入되는 部品들의 最大重量은 약 500톤이 豫想된다. 海上이나 河川 또는 運河를 通하여 運搬할 수 있다면 매우 有利할 것이며 좋은 陸上路나 鐵道에 의한 運搬도 考慮되어야 할 것이다.

##### (2) 電力消費地와 送電線

原子力發電所와 連結되는 電力消費地 또는 主送電線까지의 送電線의 길이가 길면 몇가지 不利한 點이 있다 첫째 資本投資가 크며, 둘째 送電線이 顯著히 눈에 띄게 함으로서 주는 心理的衝擊이 더해지며, 셋째는 긴 送電線은 電力의 安定性에 대한 技術的問題를 일으킨다 原子力安全問題와 關聯하여 原子力發電所는 디젤發電機 또는 非常裝置가 있다 하더라도 設다운時에는 恒常 主送電線은 네트워크가 잘 이루어지도록 하여 發電所로서의 信賴性을 充分히 같도록 하여야 할 것이다. 끝으로 긴 送電線은 電力供給施設로서의 原子力發電所의 信賴性을 얼마간 減少시키는 結果도 가져오는 것이다.

##### (3) 冷却系統

다른 火力發電所와 같이 熱排泄裝置인 콘덴서에서의 熱除去에 必要한 大量의 冷却水가 必要하다. 理想的으로는 海水, 湖水 또는 큰 河川으로부터 이 冷却水を 얻을 수 있다. 이러한 冷却水源을 使用하기 전에 熱을 排出함으로서 環境에 주는 影響을 點檢하여야 할 것이다. 化學劑를 使用한다면 이것이 주는 生物學的結果를 點檢하여야 할 것이다.

直接 冷却水を 얻을 수 없으면 다음 方法으로서는 冷却塔를 使用하는 것이 普通이다. 強制 또는 自然通風式 冷却塔를 使用할 수 있으며 그중 自然通風式이 바람직하다. 冷却塔는 때로는 冷却水의 條件에 의하여 夏期에만 使用하는 수가 있다.

濕式冷却塔를 使用하는 경우 蒸發로 因한 損失을 補充하기 위하여 相當한 流量을 補充해 주어야 하며 1000 MWe 輕水爐發電所의 경우 그 流量은 0.6 m<sup>3</sup>/sec 이다. 原子力發電所는 設다운中에도 冷却水가 必要하다. 冷却塔使用時의 補充冷却水로서 河川水는 가장 靑을만 하며 이것이 없는 경우는 地下水나 空氣冷却을 考慮하여야

할 것이다. 경우에 따라서는 스프레이 폰드나 人工湖水와 같은 冷却施設을 마련하는 수도 있다.

#### (4) 人口密度

敷地選定에 있어서 安全性問題는 가장 論難의 對象이 되고 있다. 그間 좋은 安全한 成績으로 原子力發電所가 運轉되어 왔음에도 불구하고 大部分의 國家에서는 假想의 事故에 따른 重大한 影響을 考慮하여 發電所敷地를 都會地로부터 멀리 떨어 뜨릴려 하고 있다. 國土가 큰 나라에서는 原子力發電所 周圍에 아무도 들어갈 수 없는 非居住區域을 設定하여 都會地로부터 隔離시키고 있다. 그러나 人口密度가 높은 나라에서는 이와같은 措置를 取할 수 없다. 그러나 그때 그때마다 人口特性에 따라 敷地の 適否性을 評價하고 있다.

國土가 좁은 나라들은 充分한 隔離面積을 둘 수 없는 대신에 原子力發電所 自體를 보다 더 높은 信賴性과 安全性를 갖도록 設計하고 있다.

#### (5) 進入性

原子力發電所建設中 重量級の 部品, 即 原子爐容器, 蒸氣發生器, 터빈, 發電機等を 輸送할 수 있도록 敷地로 進入할 수 있는 海上路, 水路, 鐵道 및 陸上路를 考慮하여야 한다. 現場에서의 이들 部品の 組立도 考慮할 수 있으나 이것들은 높은 水準의 製造規格과 檢査가 必要하기 때문에 經費가 많이 든다. 敷地는 또한 大量의 建設材料, 예컨대 시멘트, 모래, 자갈, 鐵筋等の 購入 및 輸送도 考慮하여야 할 것이다.

#### (6) 地質問題

原子力發電所敷地の 必要條件의 하나는 安定된 下層土이다. 原子力發電所建物들은 대단히 무거우며 土壤이 이 무게를 充分히 받칠 수 있어야 할 것이다. 原子力發電所 全體가 單一 岩盤을 基礎로 할 수 있다면 建設作業은 매우 容易하여 질 것이다. 또 다른 重要한 因子는 下層土가 水分에 對하여도 充分한 安定性을 維持할 수 있어야 하는 것이다. 敷地에서의 地質學的 缺陷의 發見은 때로 認許可過程에서 論難의 對象이 될 수 있다.

#### (7) 水理學的問題

敷地는 바다, 河川, 댐, 降雨等으로부터 浸水가 있어서는 안된다. 그러나 反面에 冷却水供給源은 반드시 갖추어야 한다. 따라서 그 地方의 河川等の 特性을 歷史적으로 調查研究하여 그 舉動을 調查할 必要가 있다. 어떤 特別한 目的으로 使用하고 있지 않는 地下水가 있다면 이것은 非常冷却水로서 좋은 水源이 될 것이다. 그러나 地下水를 飲料水로 使用하고자 할 때는 放射性物質의 汚染除去等 對策을 세워야 할 것이며 이것은 追加經費가 必要하게 된다. 海邊의 敷地에 對하여는 海岸

線의 安定性을 充分히 調查하여야 할 것이다.

#### (8) 飲料水 및 工程用水

飲料水 및 建設中の 工程用水는 發電所建設期間中 大量으로 必要하다. 또 이것은 運轉中の 補充水源이 될 것이다. 이러한 水源은 河川 또는 湖水로부터 얻을 수 있을 것이다.

### 나. 外部의 考慮事項

#### (1) 地震

確率의 可能性은 낮더라도 有事時 높은 危險性을 가지는 경우, 原子力發電所는 經濟性을 無視하고서라도 有事時의 安全을 위한 設計를 하게 된다. 原子力發電所는 地震에 對하여 그 地方에서 合理的으로 일어날 수 있는 地震을 根據로 하고 또 地震發生時 安全하게 섰다울 수 있도록 設計하도록 되어 있다. 溫和한 地震地域에 對하여는 그 地域의 地震強度의 歷史的 記錄과 地震源으로부터의 距離를 考慮하여 設計한다. 安全섰다운 地震으로 인한 加速度는 普通 基礎岩磐에 對하여 定한 다음 岩磐과 發電所사이의 土壤特性을 考慮하여 發電所에 對한 影響을 決定한다.

地震強度가 높으나 發電所는 建設할 수 있을 때는 發電所施設과 建物들은 낮게 놓이도록 設計하며 構造物과 機械의 支持物, 補強材 緩衝裝置等으로 耐震性을 주도록 設計되어야 할 것이다. 이런 對策은 構造物의 무게를 增加시키고 基礎工事의 經費를 增加시킬 것이며 따라서 全體 엔지니어링經費도 增加하게 될 것이다.

#### (2) 바람

過去의 가장 큰 速度의 바람에 對한 可能한 記錄의 調査를 實施하여야 한다. 最大風速을 定할 때는 直接 및 間接效果를 考慮하여야 한다. 直接效果는 構造物上의 壓力荷重과 이 作用으로 인한 어떤 壓力差 및 負壓狀態에서의 格納容器換氣效果들이다. 또한 이 最大風速으로 인하여 높은 建物를 補強하는 경우의 經費도 考慮되어야 할 것이다. 間接效果는 바람으로 인한 飛散物의 影響이며 이를 適切히 設計에 考慮하여야 할 것이다.

#### (3) 洪水

바다에서의 地震으로 인하여 發生하는 쓰나미와 같은 危險性을 주는 여러가지 洪水를 考慮하여야 할 것이다. 또한 河川의 범람도 考慮되어야 할 것이다.

#### (4) 交通과 工業施設

陸上路 및 鐵道等の 交通과 發電所隣接의 工業施設은 爆發의 原因이 될 수 있다. 特別히 隣接地域의 精油工場 또는 이와 類似한 化學工場에서의 氣體爆發은 甚한 危險性을 준다. 航空機의 墜落事故의 可能性도 現代式 原



子力發電所에서는 設計時 考慮되고 있어 이 危險性을 주는 敷地近處의 飛行場의 有無도 考慮되어야 할 것이다

新燃料, 使用이 끝난 燃料의 輸送을 위한 保安措置가 考慮되어야 할 것이다. (次號에 繼續)

#### 라. 環境에 주는 影響

##### (1) 물

原子力發電所가 環境에 주는 主要影響은 熱放出이다. 相當한 量의 放射性廢棄物이 生産되나 現代의 發電所에서는 잘 處理되도록 設計되어 있다. 따라서 發電所로부터의 流出物은 許容된다. 그러나 熱에너지의 放出은 물의 酸素含量을 變化시키는 影響을 주며 溫水放出은 直接的 間接적으로 水中生物에 變化를 줄 수 있다. 이런 問題를 敷地選定過程에서 注意를 기울여야 할 것이다.

##### (2) 空氣의 質

原子力發電所로부터 放出되는 重要한 長壽命 放射性氣體는 環境에 影響을 거의 안주도록 그 準位를 낮추어 大氣로 放出되도록 되어 있다. 冷却塔를 使用하는 경우 冷却塔으로부터 放出되는 濕氣를 減少하도록 設計에서 考慮되어야 할 것이나 이것이 環境에 주는 影響은 크지 않다.

##### (3) 建設中の 騒音

建設中の 作業, 運搬等으로 인한 騒音은 工業地帶의 그것과 比較할 수 있다.

##### (4) 美 學

休養地에 屬하여 있다면 그 環境에 알맞게 發電所를 美學的見地에서 建築하도록 配慮하여야 할 것이다.

##### (5) 運轉中の 騒音

運轉中の 騒音은 主로 터어빈, 變電所, 冷却塔로부터 나올 수 있으며 必要하면 이를 防止하는 對策을 세워야 할 것이다.

##### (6) 燃料輸送

#### 參 考 文 獻

- 1) Nuclear Power Growth 1974-2000, USAEC, WASH-1139 (74), 1974
- 2) Energy Prospects to 1985, OECD Report, 1974
- 3) Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, General Report, IAEA, 1973
- 4) R. T. Jenkins and D. S. Joy, Wien Automatic System Planning Package(WASP), An Electric Utility Optimal Generation Expansion Planning Computer Code, USAEC Rep. ORNL-4945, 1974
- 5) Nuclear Power Planning Study for Parkistan, IAEA, 1975
- 6) H. Aoki, New Method of Long Range or Very Long Range Demand Forecast of Energy Including Electricity Viewed from the Worldwide Standpoint, Electric Power Development Co. Ltd., Tokyo, 1973
- 7) E. L. Grant and W. G. Ireson, Principles of Engineering Economy, Renald Press Co., New York, 1970
- 8) E. A. Helfert, Techniques of Financial Analysis, Dow Jones-Irwin, Inc., 1972
- 9) D. Scholz, Evaluation of Sites, Text of Training Course on Nuclear Power Project Planning and Implementation, Karlsruhe, 1975