

## 臺灣의 原子力産業 近況

1978年 12월부터 1985年 5월까지 6年半동안 臺灣電力公社는 3個所の 原子力發電所(爐型別로는 BWR 4基, PWR 2基)를 運轉開始했으며, 1986年에 이 發電所들은 臺灣 全体 電力量의 43% 以上을 供給하였다. 그동안 臺灣電力公社는 從業員에 대한 訓練과 發電所의 性能 및 運營面의 改善을 위해 注力해왔으며, 1983년부터 臺灣政府는 原子力프로그램의 2段階事業 着手承認을 保留해왔다. 이 2段階事業에는 6基의 1,000MWe 原子力發電所의 新規建設이 包含되어 있으며, 이 中 4基는 2000年 以前에 運轉開始하도록 計劃되어 있어 原子力發電은 臺灣政府의 脫油政策의 根幹을 이루고 있다.

### 에너지需給現況

臺灣은 3萬6千平方미터의 國土面積과 1千9百 萬餘의 人口를 갖고 있다. 過去 40年間 이 나 라 經濟는 基本的인 農業形態에서 輸出産業의 工業形態로 變遷해왔다.

天然資源은 極히 限定돼 있어 石炭生産은 이 미 고갈되었고 小規模의 水力資源만이 經濟的 으로 開發이 可能한 상태이다. 1次에너지源의 90%以上을 輸入에 依存하고 있고 주로 中東産 石油이며 發電用石油消費量은 急激히 減少하여 1980年에 全體石油消費量의 60%였던 것이 1986年에는 12%로 줄었다.

經濟成長과 에너지需要增加가 急增하여 過去 20年間 年平均 9%가까운 伸長勢를 보였다. 그러나 앞으로 15年間은 보다 적절한 GNP伸長勢 (年平均 6.5%)가 豫想되고 있다. 發電設備容量은 1952年에 332MWe였던 것이 1986年末 現在 16,595MWe로 增加하였고 1986년에는 9,900M We의 最大負荷를 記錄하였다.

1970年代에 年平均 12.5%의 伸長勢를 보였

던 電力需要는 1980年代에 들어와서 2年間(19 81, 1982) 保合勢를 維持했으나 그以後 다시 上 昇하기 始作하여 1986년에는 12.3% 伸長하였 다. 販賣電力量은 2000년까지 年平均 5.9% 伸 長할 것으로 豫想되며 最大負荷電力은 이 期間 中 年平均 5.6% 伸長할 것으로 展望된다. 이러 한 伸長勢에 맞추기 위해서는 2000년까지 約 12,000MWe의 新規發電設備의 建設이 必要하다 고 臺灣電力公社에서는 보고 있다.

1986年の 總販賣電力量 53,813GWH中에서 74% 는 産業用이었고 石油火力, 石炭火力, 水力, 原 子力の 發電比率은 別表와 같다.

現在 豫備電力比率이 正常的인 水準인 25% 를 超過하고 있으나 臺灣電力은 石炭火力과 原 子力發電所의 低廉한 發電原價를 最大로 利用 해 왔다. 53%의 設備容量으로 75%以上의 수 요를 담당하였다. 그러나 原子力發電所의 發電 量은 Maanshan-1號機의 火災事故로 損傷된 터 빈發電機의 交替工事와, 燃料再裝填 및 터빈改 造工事로 因한 2號機의 發電量 減少가 原因이 되어 1986년에 6.2% 減少되었다.

## 原子力發電所 運轉現況

Chinshan(金山), Kuosheng 國聖), Maanshan(馬鞍山) 플랜트에서 運轉 중인 5 基의 原子爐에 대한 細部事項은 表1, 2에 表示돼 있다. 이 原子力 플랜트들을 臺灣電力에서는 各各 First Nuclear Power Station(FNPS), Second Nuclear Power Station(SNPS), Third Nuclear Power Station(TNPS)로 呼稱되고 있다.

다른 開途國들과는 달리 臺灣은 어떠한 原子力 플랜트도 턴키方式으로 發注한 일이 없다. 처음부터 臺灣電力은 會社自體에서 建設管理를 했으며(臺灣에는 合當한 建設業體가 없음)設計와 플랜트設計(A/E)分野에서 漸次 더 많은 일을 擔當해 왔다. 次期原電의 플랜트設計는 外國의 設計會社와 合作으로 施行할 豫定이다.

이러한 플랜트設計能力을 기르기 위해 臺灣電力은 1979년에 Pacific Engineers Constructors社를 創設하였다. 이 會社는 Bechtel 社와 提携돼 있으며 그 1年後에는 Ebasco-CTCI 社와도 關係를 맺었다. 臺灣電力의 플랜트設計能力을 높이기 위해 技術移轉이 次期 原電發注時의 附帶條件이 될 것이다.

臺灣電力은 會社内部에 原子爐의 一部 部品の 生産이 可能한 國內業者를 選定, 支援하는 部處를 新設하였지만 開途國으로서의 原子力發電所를 設計, 建設하고 安全하게 運轉할 수 있는 能力을 갖추는 것이 國內製作業者를 養成하

는 것보다 더 重要하다는 것을 알게 되었다. 따라서 臺灣電力은 設計, 運轉, 補修에 대한 自體能力을 開發하고 輕水爐技術向上에 많은 努力을 기울이고 있다.

## 플랜트性能向上

電力供給系統의 容量이 작기 때문에 稼動率 이 높아야 한다는 것이 매우 重要하다. 原子力 플랜트는 每日의 負荷變動에 맞추어 稼動되고 있다.

80%以上の 平均稼動率이 Chinshan 플랜트에서 4年間, Kuosheng 플랜트에서 2年間, 各各 繼續 達成되었고 1986年 3月에는 Chinshan 플랜트 1號機가 418日이라는 BWR의 連續運轉의 世界記錄을 세웠다.

原子爐의 스크램發生頻度를 줄이고 從業員들의 被曝線量을 줄이기 위해 많은 努力이 기울여졌으며 특히 補修作業과 燃料再裝填期間中에는 더욱 注意를 기울였다(表2 參照). 安全性과 信賴性的 改善프로그램이 各 發電所마다 施行되기 始作했다. 例를 들어 Chinshan 플랜트의 경우, 이 플랜트의 1%의 容量增加는 化石燃料費로 換算해 年間 美貨 5百萬弗의 費用節減을 가져오는 것이다.

1986년에 原子力發電所의 發電單價는 美貨로 32mills/KWH였는데 石炭火力은 41mills, 石油火力은 61mills였다.

〈表 1〉 대만의 原子力發電 開發計劃

| Reactor    | Type | MWe  | NSSS | Suppliers T/G | A - E   | First concrete | Commercial operation | Cumulative load factor% |
|------------|------|------|------|---------------|---------|----------------|----------------------|-------------------------|
| Chinshan 1 | BWR  | 636  | GE   | W             | Ebasco  | 6 /72          | 12 /78               | 69.1                    |
| Chinshan 2 | BWR  | 636  | GE   | W             | Ebasco  | 12 /73         | 7 /79                | 75.1                    |
| Kuosheng 1 | BWR  | 985  | GE   | W             | Bechtel | 11 /75         | 12 /81               | 62.9                    |
| Kuosheng 2 | BWR  | 985  | GE   | W             | Bechtel | 3 /76          | 3 /83                | 66.6                    |
| Maanshan 1 | PWR  | 951  | W    | GE            | Bechtel | 8 /78          | 7 /84                | 42.1                    |
| Maanshan 2 | PWR  | 951  | W    | GE            | Bechtel | 2 /79          | 5 /85                | 54.5                    |
| Yenliao 1  | ?    | 1000 | ?    | ?             | ?       | ?              | 1996                 | —                       |
| Yenliao 2  | ?    | 1000 | ?    | ?             | ?       | ?              | 1997                 | —                       |
| Maanshan 3 | ?    | 1000 | ?    | ?             | ?       | ?              | 1999                 | —                       |
| Maanshan 4 | ?    | 1000 | ?    | ?             | ?       | ?              | 2000                 | —                       |

## 電力供給業體

臺灣電力公社는 國營業體로 電力供給에 대한 獨占權을 가지고 있다. 이 會社는 國有化企業協議會를 통해 經濟企劃省에서 管轄하고 있으며 原子力프로젝트와 運營은 最高經營陣에서 直接管理하고 있다. 1984년에는 모든 原子力關係業務活動은 根本적으로 別個의 會社인 「原子力에너지그룹」에서 主管하였으나 이러한 運營方式이 費用이 많이 發生하는 것으로 밝혀져 政府에서는 이 機構에서 追求해 온 運營上의 伸縮性을 容認하지 않았다. 建設이 中止됨에 따라 1986年 原子力關係業務가 臺灣電力公社에 再吸收되었다.

原子力플랜트의 運營, 設計 및 品質管理에 대해서는 現在 別個部處를 두고 있으며 原子力및 火力건설프로젝트는 同一部處에서 수행하고 있다.

새로운 規定과 輿論의 영향으로 1986年「環境廳」을 新設하였다. 이 部處는 原子力플랜트의 環境에 미치는 影響을 檢討하기 위해 環境 데이터베이스管理시스템을 設置하였다.

研究開發業務는 「電力研究所」를 設立함으로써 強化되었고 이 研究所의 任務中的 하나는 核燃料의 백엔드管理이다. 臺灣電力의 原子力研究開發事業은 原子力에너지研究所(INER), 國立大學, 材料研究所등과 같은 國內의 原子力關係機關과 共同으로 施行한다. 이 研究機關들의 1

次的인 目的은 原子力安全性에 대한 自立度 提高, 認許可申請業務에 대한 支援, 플랜트의 信賴度 및 稼動率의 向上 및 臺灣電力公社內部的 原子力事故管理能力의 培養등에 있다.

長期的인 研究開發計劃에서는 作業安全性 分析, 事故豫防, 放射線모니터링에 의한 放射性廢棄物管理 및 核燃料管理등에 關한 「現場의 技術基準」을 마련하는데 力點을 두고 있다.

## 外國과의 協力

臺灣은 美國과 外交關係가 없으므로 美國原子力規制委員會(USNRC), 美國에너지省 및 國立研究所들과의 接觸은 美中協會(AIT)와 民間次元의 原子力協力委員會를 갖고 있는 北美洲協議會(CCNA)를 통해 이루어지고 있다. 臺灣電力은 INPO會員社이고 ALWR開發이나 耐震實驗을 包含해 EPRI의 몇개 프로그램에 參與하고 있으며 耐震實驗을 위해 2個의 PWR 格納容器的 縮小模型을 Lo-Tung에 建設했다. 벨기에의 電力會社들, 프랑스의 EdF社, 韓國의 韓國電力公社와는 技術協力協定에 따라 定例會議을 열고 있다. 日本會社들과는 아직 協約이 없다(「廢棄物處分」項 參照).

臺灣은 NPT條約을 認准하였고 지금은 비록 IAEA의 會員資格을 喪失했지만 臺灣의 모든 原子力施設은 여전히 IAEA의 安全保障措置對象이 되어있다.

〈表 2〉 原電의 運轉實績 (1986年度)

| Reactor    | Capacity factor<br>% | Availability factor<br>% | Unplanned automatic trips | Refuelling outages |        | Average individual dose (rem /man) |
|------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|--------|------------------------------------|
|            |                      |                          |                           | Days               | People |                                    |
| Chinshan 1 | 77.35                | 83.95                    | 1                         | 54.8               | 2296   | 0.328                              |
| Chinshan 2 | 71.47                | 81.23                    | 5                         | 58.8               | 2187   |                                    |
| Kuosheng 1 | 87.38                | 94.64                    | 2                         | —                  | —      | 0.160                              |
| Kuosheng 2 | 75.31                | 81.92                    | 1                         | 48.7               | 1531   |                                    |
| Maanshan 1 | 20.86                | 23.88                    | 5                         | —                  | —      | 0.054                              |
| Maanshan 2 | 34.49                | 55.27                    | 12                        | 66.2               | 1610   |                                    |

## 核燃料再裝填 및 補修

1986년의 4 個유니트의 燃料再裝填停止 期間은 48.7~66.2日이었는데 이는 모두 豫定期間보다 짧았던 것이다. 臺灣電力은 大部分의 計劃補修作業을 豫防補修에 力點을 두고 實施한다. 供給業者와 멀리 떨어져 있기 때문에 豫備部品の 在庫量을 正常値以上으로 維持했으며 이렇게 함으로써 補修停止時間을 줄일 수 있었다.

「補修管理電算化시스템」을 會社自體에서 開發했는데 이 시스템은 14개의 모듈로 이루어져 있으며 이들은 單獨 또는 여러가지 組合된 狀態에서 使用된다. 放射線量制御 및 信賴度改善을 擔當하는 別途의 電算시스템을 開發해서「原子力發電所管理電算化시스템」에 包含시킨다. 運轉實績의 피드백 시스템도 電算化되었다. 運轉實績에 關한 데이터뱅크가 앞으로의 原子力發電所建設을 위한 適正한 設計基準을 開發하는데 利用될 것이다.

Exxon Nuclear社와의 技術移轉 및 共同設計作業을 施行한 後에 臺灣電力은 1986년에 最初로 BWR再裝填爐心을 設計했고 PWR爐心に 대해서도 이와 똑같은 能力을 開發中이다.

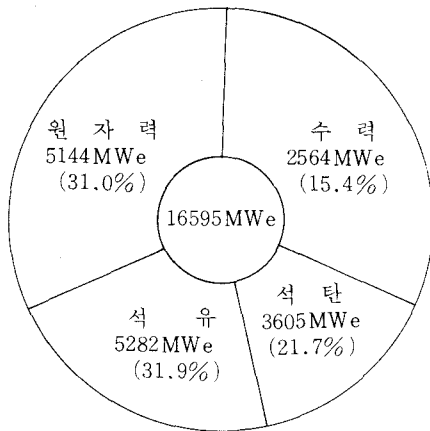
## 教育訓練

臺灣電力은 教育訓練과 人力開發의 機會를 마련하는데 注力하였다. 新任會長 T. H. Fu 씨의 提唱에 따라 1986年을 教育訓練의 해로 宣布했으며 INPO가 이에 대한 評價作業을 도왔다. 評價結果 補修要員訓練이 運轉要員訓練에 비해 疎忽히 다루어져 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 臺灣電力은 2, 3年內에 適當한 施設과 14名의 專任講師를 確保함으로써 補修要員訓練을 強化할 것을 希望하고 있다. 全體의으로 보아 原子力訓練프로그램은 여러 分野에 걸쳐 總423個 課程으로 이루어져 있으며 이 中 57個 課程은 各個의 原子力發電所의 必要에 따라 特別히 마련된 것들이다.

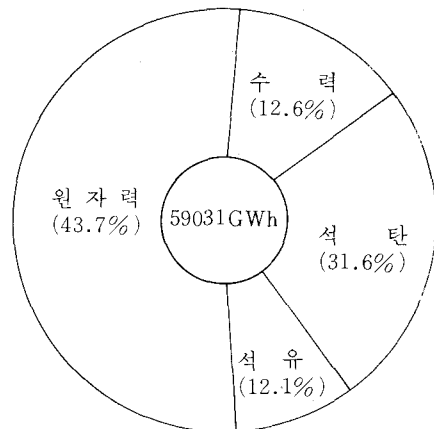
1968年以後 約866名의 經驗있는 엔지니어와 運轉要員들이 製作會社, 플랜트設計會社, 電力會社, 規制機關에서의 現場實習을 위해 海外에 派遣되었다. 最近에는 每年 100名程度 보내고 있다.

現在 原子力發電所에는 各各 1臺씩의 시뮬레이터가 備置돼 있으며 이의 運轉員들은 大部分 大學卒業者들이다. 昨年 7月부터 運轉員의 日交代勤務組를 5組에서 6組로 늘렸으며 이 中

(1) 電源別 施設容量(1987年 1月)



(2) 電源別 發電量(1986年度)



〈그림 1〉 대만의 電源構成比率

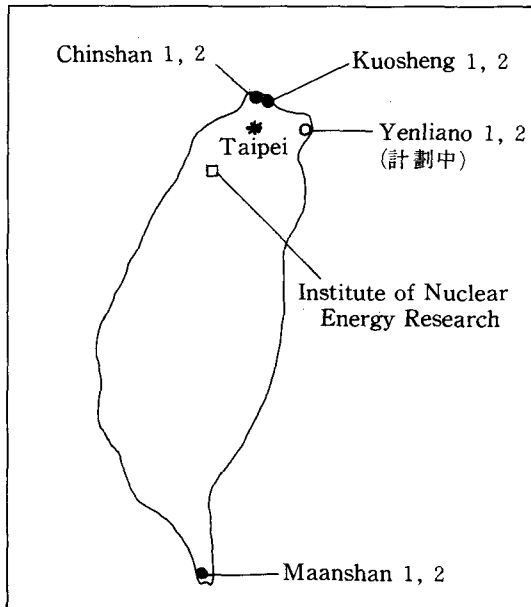
1組를 再訓練에 配置하고 있다. 訓練目標은 運轉免許를 갖고 있는 運轉員에 대해서는 年間 200時間, 無免許運轉員에 대해서는 年間 140時間의 再訓練을 받게 하는 것이다(INPO의 指針書는 最少限 各各 40時間, 80時間 履修하도록 勸獎하고 있다).

## 新規發電所 建設

臺灣電力은 原子力發電의 經濟的 優位性이 持續될 것이라는 點에 대해서는 疑心の 餘地가 없는 것으로 보고 있다. 앞으로 建設될 發電所의 發電單價를 1987年度 價格을 基準해서 比較檢討해 본 結果 原子力 2×950MWe의 경우 35.84 mills/KWH, 石炭火力 2×550MWe의 경우 42.34mills/KWH, 石油火力 3×550MWe의 경우 60.62mills/KWH이고 原子力 1基의 建設單價는 1,743弗/kW가 되는 것으로 나타났다.

現在 豫備容量이 確保돼 있는 狀態이므로 앞으로 3年間은 몇個所의 小水力과 石炭轉換火力發電所만 系統에 投入될 것이다.

東北海岸의 Yenliao(塩寮)에 建設될 4 번째



(그림 2) 대만의 原子力施設現況

原子力發電所(2×1,000MWe)는 當初 1993/1994년에 竣工豫定이었으나 1982年 Combustion Engineering社(NSSS)와 Northern Engineering Industries社(터빈發電機)가 供給業者로 指名된지 몇個月後에 臺灣政府는 電力需要增加率의 鈍化를 理由로 이 注文에 대한 承認을 拒否하였다.

電力需要伸長勢가 回復되자 臺灣電力은 이 두 유닛을 1994, 1995년에 各各 竣工시키는 것으로 이 프로젝트에 대한 承認을 再申請하였으나 再次 拒否當했다. 이는 政府內에서의 이 프로젝트의 높은 費用과 將來의 電力需要 伸長에 대한 疑俱心外에 原子力の 安全性과 廢棄物處分에 대한 國民들의 憂慮가 크게 作用했던 것으로 보인다. 그 때에 마침 Maanshan(馬鞍山) 發電所에서의 터빈發電機의 火災事故와 체르노빌事故가 發生하였다.

1986年 中盤에 臺灣電力은 政府로 부터 發電所敷地整地作業을 中止할 것과 政府承認이 날 때까지 原子力發電에 대한 弘報活動을 展開할 것을 指示받았다. 이와 同時에 政府는 中華經濟企劃院에 대해 22個項目에 達하는 別途의 妥當性調查를 實施할 것을 要請하였다. 이 調查結果는 發表되지 않았으나 建設工事が 中止될 때까지 8千1百萬弗이 使用된 것으로 알려졌다.

1993年 以後의 發電容量不足事態를 憂慮하여 臺灣電力은 아직도 1996年과 1997年에 系統에 投入할 수 있도록 이 두 유닛에 대한 建設許可를 繼續 要請하고 있다.

「現實化되고 修正된」 妥當性調查結果가 1997年末까지 完了될 豫定이었다. 이 調查에서는 처음으로 社會 및 環境保護上의 要因들이 反映된 것이다.

Yenliao플랜트 2基에 대한 建設許可가 나면 따로 入札에 붙여질 것이지만 이 入札에는 Maanshan플랜트에 追加建設될 2基의 後續機(1999, 2000년에 各各 竣工豫定)도 選擇條件으로 包含될 것이다, 이에는 PWR와 BWR만이 現

● 臺灣에는 우라늄資源이 없으며 外國의 우라늄濃縮서비스에 依存하고 있는 實情이다. 燃料供給中繼事態의 影響을 덜 받기 위해 우라늄所要量의 70%를 長期供給契約과 多邊化된 現物市場으로 부터 購入하고 있다.

在 考慮對象이 되어있다.

이 外에 追加로 14基의 原子力유니트를 建設豫定인데 Yenliano에 6基, Chinshan과 Kuosheng에 各各 2基, Maanshan에 4基로 되어있다.

## 標準化作業

Yenliao플랜트建設이 遲延되고 있는 가운데 臺灣電力의 엔지니어들은 프로젝트管理和 施工方法의 改善(事前組立式工法, 컴퓨터制御, 自動熔接 및 大型起重機의 大幅的인 活用等)을 위해 繼續 努力中이다. 플랜트設計를 改善하고 標準化의 範圍를 定하는 作業도 이와 併行해서 進行되고 있다. 이와 같은 作業은 모두 安全性, 環境保護 및 信賴性을 높이면서 建設工期와 費用을 줄이는데 그 目的이 있다. 標準化하는데 있어 障礙要因이 되고 있는 것중의 하나가 輸入의 必要性이다. 臺灣電力에서는 競爭入札에 붙여도 플랜트數地造成과 原子爐設備의 50%의 標準化가 可能하다고 보고 있다.

## 規制規定

規制 및 許可節次는 大體的으로 美國의 慣例를 쫓고 있지만 臺灣原子力協議會(AEC)에서는 美國NRC의 規定을 適用하는데 있어 臺灣의 實情(특히 改補修에 대해서)에 맞추도록 調整하고

있으며 運轉許可도 該當發電所가 全出力運轉要件을 갖추기 때까지 發給되지 않을 것이다. 지금까지 許可申請件이 公聽會에 回附된 일은 없다.

AEC는 本來 首相에게 直接 報告하는 別個의 政府部處이다. 이 協議會의 事務總長의 職位는 美國NRC의 運營擔當理事職에 該當하며 이 協議會의 議長은 그날그날의 運營에 關與하고 있는 常勤職이지만 原子力委員들은 非常勤職이다. 이 協議會職員의 大部分은 技術者이며 各 原子力發電所마다 한 사람씩의 常駐檢查員을 派遣하고 있다.

AEC는 原子力에 너지研究所를 管理하고 있는데 이 研究所는 技術移轉, 放射能監視센터 및 廢棄物管理에 대한 1次的인 審査機關이다. 이 中의 廢棄物管理에 있어서는 低準位放射性廢棄物의 處理, 輸送 및 貯藏에 대한 責任을 진다.

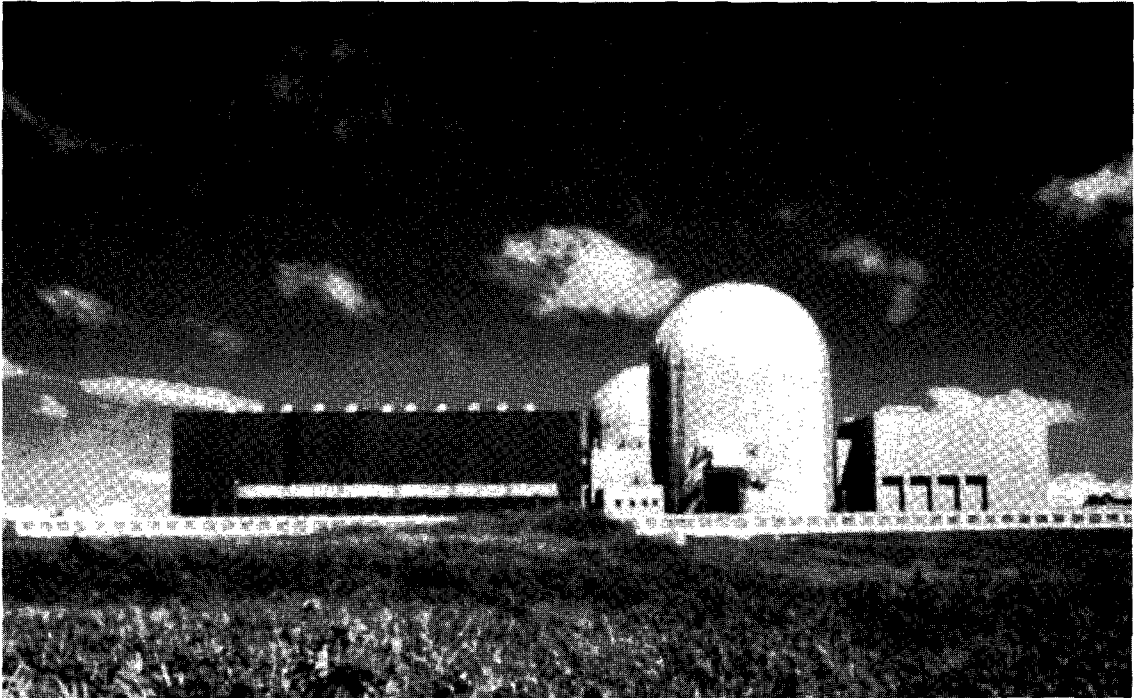
## 우라늄燃料供給

臺灣에는 우라늄資源이 없으며 外國의 우라늄濃縮서비스에 依存하고 있는 實情이다. 燃料供給中斷事態의 影響을 덜 받기 위해 우라늄所要量의 70%를 長期供給契約과 多邊化된 現物市場으로 부터 購入하고 있다. 그 나머지는 主로 美國內에서의 合作資源開發事業에 의해 充當되고 있다. 核燃料과 우라늄에 대해서는 戰略的인 在庫水準을 維持하고 있다.

주요 美國과 南阿聯邦과의 既存의 契約에 의해 1990年代 初期까지의 所要量은 커버될 것이지만 그 以後에는 英國과 프랑스로 부터도 輸入할 展望이다.

燃料加工工場建設計劃은 Yenliano發電所 1,2號機의 着工認可가 날 때까지 保留되었다.

使用後燃料의 再處理와 플루토늄의 再循環을 위한 濃縮施設의 建設은 所要費用과 政治的인 理由때문에 아직 計劃돼 있는 것이 없다. 그러나 再處理工程만은 經濟性이 있는 경우 再檢討될 可能性이 있다.



1984년과 1985년에 각각 상업운전에 들어간 Maanshan 1, 2號機 (PWR)

## 廢棄物處分

發電所內에서의 適切한 在庫整理作業으로 2000년까지의 全爐心備蓄設備容量이 確保될 것이다. 여러가지 形式의 大規模中間貯藏方式이 檢討되고 있다. 低準位廢棄物은 現在 固化處理하여 2~3年間 現場에서 保管한 다음에 中間貯藏을 위해 南海岸海域의 Orchard섬으로 運搬된다. 그러나 臺灣政府는 이 섬을 完全規模의 核燃料週期施設場所로 轉換시킬 計劃이 있다는 說에 대해서는 이를 否認했다.

앞으로 建設될 新規發電所에서는 現場貯藏施設을 더 擴張하고 보다 效率적인 減容施設을 採擇하게 될 것이다. 使用後燃料과 高準位廢棄物處分에 關한 2年間의 研究는 今年 여름까지 끝낼 豫定이다. 臺灣電力은 廢棄物處分에 대해서는 AECL와 共同作業을 펴고 있으며 美國과 프랑스의 技術顧問을 雇傭하고 있다. 放射性廢棄

物管理處는 Belgonucleaire社와 廢棄物管理서비스를 위한 契約을 맺은 바 있다.

1986년에 電力料金에 核燃料백엔드處理 費用을 計上하였으며 이에 대한 國民들의 理解를 求하기 위해 한 弘報委員會를 構成했다.

原子力發電所는 壽命이 끝나면 密閉保管된 다음 敷地를 再活用하기 위해 解體撤去될 것이다.

## 弘報活動

國民弘報에 關한 政府指示에 따라 臺灣電力은 弘報冊子發行, TV프로그램放映, 展示活動에 注力하고 있다. 日本方式에 따라 發電所隣近의 地域社會開發을 위해 基金을 마련하고 있다. 臺灣電力에서는 Yenliano프로젝트를 위해 豫備環境報告書를 準備中인데 이와 같은 일은 이번이 처음 實施되는 것이다.