

電力系統特集

李 昌 健*

原子力發電系統

— 차 레 —

- 1. 電力需要와 原子力開發
- 2. 技術用役
- 3. 原子爐의 技術 및 經濟性評價
- 4. 核燃料
- 5. 管理

1. 電力需要와 原子力開發

1975年度初의 우리나라 電力尖頭負荷는 300萬KW였으나 총 發電施設客量이 450萬KW이었으므로 전 시설 중 약 1/3을 豫備시설로 保有하는 여유를 갖고 있었다. 그러나 이 중 火力이 86%인 390萬KW를 占하고 水力은 나머지 14%만을 차지하여 소위 火主水從의 構造的 취약성을 내포하고 있다.

한편 1960年代와 70年代初期에 이르는 10餘年間の 電力需要추세는 年평균 21.5%라는 括日할만한 成長率을 이룩하였고, 油類波動으로 전 세계가 負의 成長, 無成長 내지는 기껏해야 4~5%의 成長率밖에 보이지 못하였던 近年에도 유독 우리나라만은 年 14%라는 기록적인 成長率을 과시하였다. 이러한 경향은 政府가 강력히 推進하려는 重化學工業育成策으로 말미암아 앞으로 당분간 지속적인 추세를 유지할 것으로 展望된다.

이러한 需要를 충족키 위하여 본 作業에서는 장차의 人口增加率, 經濟成長추세, 生活水準, 一人當電力消費量, 産業構造등의 각종 要因을 參작하여 今世紀末까지의 尖頭負荷와 發電施設客量을 여러가지 모델로 추정하여 보았다. 이 중 西紀 2000年度의 尖頭負荷는 75年度の 13~14배에 이르는 4000萬KW이고 그때의 豫備發電量을 20%로 간주하여 총 發電施設客量을 4800萬KW로 내다 보았다. 그렇다면 이 4800萬KW중 얼마만큼을 原子力으로 充當하는 것이 가장 적절할 것인가? 이 물음에 대한 解를 얻기 위하여 본 作業에서는 이에 영향을 줄 가능한 모든 因子와 動원가능한 각종 方法을 이용한 결과 전 所要 電力確保量 가운데 40% 내지 60%를 原子力이 占有토록 하는 것이 타당할 것이라는 結論에 도달케 되었다.

특히 原子力發電所 건설에 따르는 資金確保문제, 敷地, 原子力の 經濟性評價, 爐型間的 技術性比較, 單一

機容量, 投入時機, 建設工期, 機資材供給, 輸送, 核燃料週期分析, 人力訓練과 供給, 部品國産化, 技術用役과 品質保證, 資源現況, 認許可, 法規制, 行政體制 등에 이르는 각분야의 문제점을 종합적으로 검토하여 第一案(上限), 第二案(下限) 및 第三案(中間線)을 提示하였으며 이 중 가장 適正하다고 생각되는 第三案을 主要적으로 채택키로 하였다.

이 第三案에서는 4800萬KW의 主要建設容量中的 52.5%인 2520萬KW를 原子力으로 開發함에 있어서 첫 4基는 60萬KW容量級으로 하고 다음 8基는 90萬KW內外로 하며 그 이후부터는 120萬KW級으로 하되 每 9個月마다 1機의 原子爐가 着工 및 竣工되어야 한다는 힘겨운 前提를 바탕으로 하고 있다.

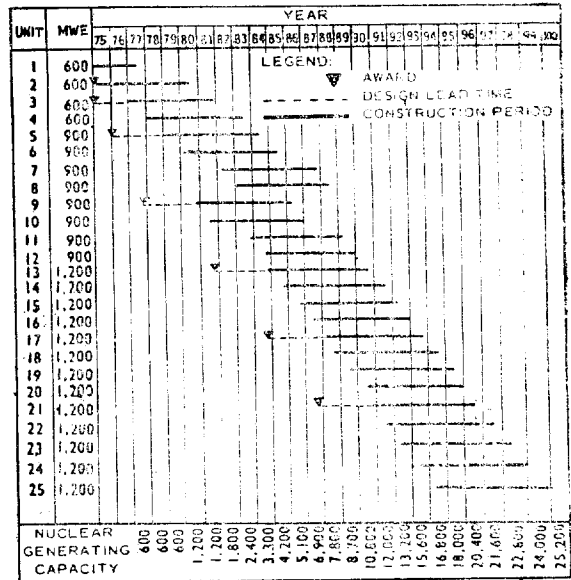


그림 1. Nuclear power generation plan intermediate plan-9 month interval

* 正會員: 韓國原子力研究所 原子爐管理室長(工博)

그림 1에서 보는 바와 같이 각 敷地에는 4基씩의 原子爐를 建設하되 첫 2基는 동시에 契約하여 약 9個月間的 時差를 두고 A地點에서 着工하나 다음에서는 B敷地로 가서 2基를 짓고 그것이 끝나면 A敷地로 돌아와서 나머지 2基를 竣工시키고 그 후에 B地點에서 또 다른 2基를 完成한다는 順番式 建設方式을 채택하고 있다. 이것은 同一地點에 同型, 同容量의 原子爐를 順次的으로 集合建設할 때 技術人力과 建設裝備의 지속적인 活用, 前半期の 經驗을 後續機에서의 設計改善에 반영할 수 있다는 利點 및 一時에 同一地點에 發電力이 偏在되지 않도록 한다는 配慮등을 반영하기 때문에 電力需給면에서 地理的 및 時期的인 안배를 기하는 方便이라고 할 수 있다. 이렇게 하여 原子力發電은 1980년에 전 발전력의 15%, 86년에는 34%, 2000년에는 52.5%을 占하게 된다.

이와같은 야심적인 計劃을 원활히 수행하고 또한 計劃 자체의 모순을 시기각각으로 補完기 위해서는 電力需要測定을 정기적으로 감행하여 國內外的 與件變化에 적응토록 해야 한다. 그리고 投資費가 많이 들고 建設期間이 오래 걸리는 原子力發電計劃은 애초부터 國策的인 經濟開發最優先事業으로 査定하므로써 財力, 人力, 資材, 技術을 망라하여 國內資源을 최대한으로, 그러면서도 有效適切하게 활용할 態勢를 강구해야 할 것이다. 즉 외국에서와 같이 原子力事業을 하나의 國策事業(national project)化하여 정부 각 部處를 망라한 汎國家的의 支援이 가능하도록 行政的, 財政的 制度를 確立하는 것이 바람직하다.

2. 技術用役

지금까지 우리나라에서는 7個의 肥料工場, 14個의 火力發電所를 오로지 외국 技術에 의존하여 建設하였다. 그것은 우리나라에 技術人力이 不足하다는 理由보다는, 散在한 技術入力を 적절히 訓練시키고 組織하여 適時適所에 배치하지 못한 때문이라 할 수 있다. 組織된 技術能力이 없기 때문에, 일단 導入된 技術도 계승, 傳達 및 土着化되지 못하는 것이다. 이런 일을 담당하는 것이 技術用役(architect-engineering, A-E) 會社의 임무이다. 技術用役會社는 통상 사업의 기획에서부터 시작하여 事業管理와 支援行政, engineering과 設計, 認許可業務, 品質保證과 品質管理, 現場監理, 物資構買와 調達, 仕様書作成, 認許可申請用 제반 書類作成 등에 이르기까지 事業主를 代行한다. 이의 組織과 技能은 전공분야에 따라 다를 수 있으나 대체적으로는 大同小異하고 原子爐一基 設計하는데 필요한

技術人力은 대략 180萬人-時(man-hours)로서 分野別人員은 표 1과 같다.

표 1. Project Man-Hour Estimate by Function (Conservative Assumption)

Function	Man-hours
Engineering, Design and Drafting	
Engineering, Project Management, and Corporate Support	80,000
Planning, Scheduling, and Estimating	30,000
Construction Liaison	20,000
Licensing	50,000
Nuclear Engineering and Analysis	130,000
Special Analysis	20,000
Mechanical	266,000
HVAC	30,000
Civil/Structural/Analysis	330,000
Architectural	37,000
Electrical	266,000
Instrumentation	125,000
Staff Support	50,000
Clerical Support	46,000
Subtotal	1,500,000
Quality Assurance	
	100,000
General Services	
Procurement Support	20,000
Administrative Engineer and Clerical Staff	180,000
Subtotal	200,000
Total Project Man-hours	1,800,000

3. 厚子爐의 技術 및 經濟性 評價

本作業에서 대상으로 한 爐型은 두개의 輕水爐(pressurized water reactor와 boiling water reactor)와 캐나다에서 開發한 重水爐(heavy water reactor) 및 高溫가스爐(high temperature gas-cooled reactor)의 4種이었다. 고려의 대상이 되었던 분야로서는 原子爐의 安全性, 動作의 容易性, 檢査 및 補修의 容易性, 建設의 容易性, 熱과 放射能의 放出率, 장래의 開發展望과 核燃料週期문제 등이다.

加壓式輕水爐(PWR)는 현재 古里에 건설중인 爐型으로서 一次系統壓力이 153atm, 冷却材出口溫度가 320°C,이며 爐內에서 加熱된 冷却材가 熱交換器를 돌아 다시 爐內로 循環하기 때문에 放射能이 大氣에 流出될 가능성이 적다. 그러나 蒸氣發生裝置에 漏泄이

생긴 때는 原子爐를 shutdown해야 하는 일이 가끔 일어나 문제시 되고 있다. 沸騰式輕水爐(BWR)는 PWR과 거의 같은 概念으로 設計된 爐型이지만 爐心部에서 물을 끓여 蒸氣를 직접 터빈으로 보내는 點이 특이하다. 이때문에 熱效率이 PWR보다 높고 熱交換器도 필요없으나 터빈系統에 유출되는 放射能을 억제하고 測定하기 위해 많은 機器를 추가로 설치해야 하는 難點이 있다. 重水爐(HWR)는 天然우라늄을 직접 쓸 수 있다는 長點과, 部品과 核燃料國産化가 비교적 쉬울 것이라는 有利點을 지니고 있다. 그러나 값비싼 重水(\$120/kg)의 漏出문제, 發電單價가 輕水爐에 비해 비싸다는 經濟的인 不利點 그리고 輕水爐에서처럼 經驗과 技術이 아직 確立되지 못하였다는 點들이 지적되고 있다. 한편 高溫가스爐(HTGR)는 熱效率이 4가지 爐型中 가장 높고(약 39%), 放射線누출이 적으며, thorium도 쓸 수 있다는 點이 있긴 하나 高濃縮(93%)의 우라늄을 裝填해야 하고 多量의 冷却材(He)가 系統을 循環해야 한다는 不利點 이외에 商業的運轉經驗이 전혀 없기 때문에 우리가 이 爐型을 導入하는 것은 時期尙우이다. 최근 이미 계약되었던 HTGR이 미국에서 대부분 取消된 것은 아마도 이것을 立證하는 것이라고 본다. 따라서 技術的見地에서 보면 전세계적으로 80% 이상이 건설 및 注文되고 있는 輕水爐爲主로 開發하되 가끔적이면 爐型과 容量을 單一化하는 方向으로 政策을 결정해야 할 것으로 본다.

今世紀末까지 建設되어야 할 25機의 原子爐中 정부가 이미 確定시켜 놓은 1~4號機와 第25號機를 빼 나머지 20機의 建設費는 무려 320억弗이고 核燃料週期費도 150억弗에 이르러 全所要資金이 도합 470억弗이 될 것으로 推算된다. 어떤 爐型을 얼마나 큰 容量으로 연

제 어떻게 建設하는 것이 가장 經濟的인가 하는 課題는 이 作業에서 가장 重要한 點을 차지하고 있다. 1975年度 價格으로 算出하면 60萬KW級의 原子力의 경우 發電單價가 약 20mills/kwh가 되어 同級의 火力發電單價 30mills/kwh에 비해 2/3에 해당한다. 그러나 지금 計劃하여 10年後인 1985年度에 竣工할 100萬KW級 原子爐의 發電單價는 약 30mills/kwh이고 油專燒의 경우는 이보다 15% 비싼 45mills/kwh로 추정된다. 즉 어느 경우나를 막론하고 原子力이 有利한 것이다.

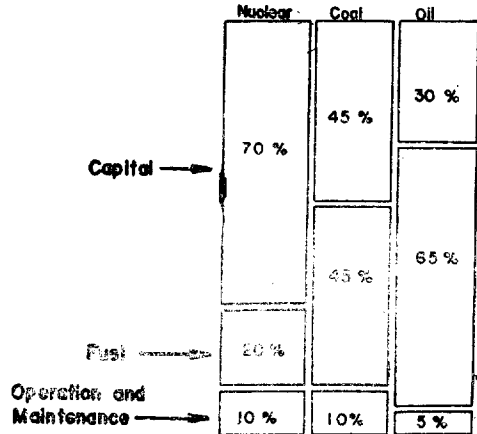


그림 2. Power generation cost breakdown (%)

그림 2는 原子力, 石炭 및 油專燒發電에서 각각이 發電費중에서 차지하는 資本費, 燃料費 및 運轉維持費 비율을 나타낸 것이다. 石炭의 경우는 資本費와 燃料費比重이 同率이지만 原子力과 油專燒方式에서는 자본비와 연료비가 逆의 關係를 가지고 있다. 미국의 경우 炭田地帶부근(약 300miles)에서 SO₂ gas除去장치 없이 發電하면 原子力發電보다 약 3% 싸게 電力을 生産할

표 2. Total Generating Costs 1985 (Mills/KW-HR)

	Nuclear	Eastern Coal Average Haul SO ₂ Removal Equipment	Western Coal No SO ₂ Removal 300Mi Haul	Western Coal No SO ₂ Removal 1000 Mi Haul	Oil
Capital Cost	22.4	19.8	15.8	15.8	13.2
Fuel Cost	5.3	17.3	8.7	15.0	30.0
O & M Cost	2.0	3.0	2.0	2.0	1.5
Total Cost	29.7	40.1	26.5	32.8	44.7
Referenced to Nuclear	—	+10.4	-3.2	+3.1	+15.0
Assumes:					
AFC		=15%			
Capacity Factor		=65			
Coal Transportation		=1/Ton-Mile in 1975 Escalated 6%/Yr.			
Fuel Escalation Rate		=6%/Yr.			

수 있지만 公害문제 때문에 1985년도에 그런 일이 가능할 것으로 보이지는 않는다. 표 2에서는 3가지 방식에 의한 發電單價를 1985年度 미국에서의 예를 들어 나열한 것이다.

4. 核燃料

1年前만 해도 파운드당 \$8.00이면 쉽게 살 수 있던 原鑛(yellowcake)이 최근에는 \$28로 올라 완전히 seller's market으로 化하리 만큼 核燃料需給판도가 달라졌다. 그러나 長期的으로 보면 이것도 하나의 過度現象인 것이므로 앞으로의 계획은 다음 몇가지 事項에 유의하여 추진해 나가야 할 것이다. 즉 우라늄原鑛과 濃縮문제는 長期的인 건지에서 사전에 確保토록 해야 하겠지만 成型加工만은 國內에서 해결하도록 技術開發에 力點을 두어야 한다. 그리고 U_3O_8 에서 UF_6 로의 變換과정, 농축된 UF_6 에서 UO_2 로의 變換과정등은 구태어 國產化를 조금씩 모색할 필요는 없다고 본다. 使用燃料의 再處理工程도 技術的인 難關과 경제적인 得失등을 擘畫하여 擘畫리 손대지 말고 전 세계적인 추세를 면밀히 주시하고 있다가 차후에 결단을 내리는 것이 현명할 것이다. 따라서 당분간은 重水爐에서와 마찬가지로 輕水爐型에서도 使用燃料의 長期貯藏을 위한 施設擴充을 기하여야 할 것이다. 다만 이 모든 過程에 대한 最適化 특히 爐內에서 燃燃中인 核燃料을 위한 最適管理를 도모하는 週期分析 作業은 頭腦와 計算機만 保有하면 감당할 수 있으므로 이 分野에 더 많은 配慮를 기해야 한다.

5. 管 理

한때 45個月이면 建設할 수 있었던 原子力發電소가 지금은 80내지 110個月 걸려야 竣工되리 만큼 오랜 時日을 要求하고 있다. 이 기간중에 發生하는 國內外정세變動으로 인한 escalation과 金利要因은 建設費에 막중한 壓迫을 가하고 있다. 지금은 escalation金利로 인한 面接費比重이 전 建設費의 거의 半을 차지하고 있으므로 全 工程에 대한 企劃과 管理는 그 어느때 보다도 중요한 畧을 차지하고 있는 것이다.

이에 못지않게 중요한 문제는 敷地選定이다. 지금까지 우리는 전 海岸線上에서 22個 후보지를 물색하여

이중 11個地點에 대한 現地踏査를 實施하였고 거기에서 최종적으로 5個敷地를 選定하였는데 이때 評價基準 대상이 되었던 事項은 地形, 廣域地質, 地震문제, 人口分布, 用地, 氣象, 水文, 海洋, 生態學的 側面, 冷却用水, 土木工事, 輸送, 送配線과 電力需要地까지의 거리, 風景, 考古學的 價値와 觀光資源등이었다. 이렇게 해서 一次的으로 선정된 地點이 月城郡 陽南面 羅兒里, 迎日郡 只谷面 新倉里, 迎日郡 淸河面 方漁里, 梁山郡 西生面 大松里 및 舒川郡 西面 馬梁里인데 이 地點들이 과연 原子力發電所敷地로서 適合한가 하는 것을 判가름하기 위해서는 보다 더 세밀하고 精밀한 세부조사를 실시해야 한다. 물론 이미 선정된 古里敷地에 대한 擴張가능성에 관해서도 검토해야 할 것이다. 上記 5個地點이 부지로서 채택되려면 적어도 1개 부지에 500萬KW를 收容할 수 있어야 한다. 또 한가지 분야는 최근에 급격히 대두되기 시작한 品質保證문제이다. 品質保證이란 設計, 購買, 運搬, 貯藏, 組立, 檢査, 試運轉등의 모든 工程에 걸쳐 規制法規上의 制限條件과 許可申請書에 明記된 設計 근거를 충족시키기 위하여 채택되는 하나의 經營方式으로서 그 정책과 절차는 書面으로 作成하여 반드시 安全分析報告書(safety analysis report)에 明示되어야 한다. 이 業務를 담당하는 機構는 설계, 建設 및 運轉을 수행하는 執行部署와 완전히 獨立되어야 하며 또한 자기 임무를 強力히 수행할 만큼 權限이 부여되어야 한다. 수행방식은 契約방법에 따라 다르나 어떠한 경우라도 최종責任의 所在은 事業主에게 있다.

原子力發電所の 企劃, 設計, 部品購買, 建設, 運營, 認許可, 品質管理 및 安全管理에 참여할 技術要員의 確保와 訓練은 長期的으로 이행되어야 한다. 本 作業에서는 法規制, 設計, 技術用役분야를 망라한 人力을 86年度까지 약 2000名 확보해야 하고 이 중 매년 약 250명 정도를 훈련시켜야 되는데 本 計劃을 밀고 나가는데 필요한 技術人力이 2000年度까지엔 8,000~10,000名으로 추정된다.

끝으로 이런 汎國家的인 國策事業을 원활히 추진해 나가는데 필요한 강력한 行政的, 財政的 및 制度的 뒷받침을 하기 위한 政府內의 機構를 다시 組織토록 하는 것이 切實한 일이다.