

《해 설》

우리나라의 原子力發電開發과 A-E

韓國 原子力 研究所

朴 寅 用

(1974년 11월 4일 접수)

서 론

에너지는 人類生活을 위한 基本的이며 絶對的 要件인 是 明白한 事實이다. 그러나 에너지分野의 科學技術者를 除外한 大部分의 사람들과 政策擔當者들은 中東產의 값싼 石油가 供給되고 있는 동안 에너지에 대하여 充分한 關心을 기우리지 않았었다.

그러다가 昨年이래로 中東產 石油가 政治武器化되고 그 값이 急騰하자 世界經濟는 破綻에 直面한 에너지危機를 맞게 된 것이다. 世界의 모든 나라들은 뒤늦게나마 이와같은 에너지危機를 克服하는 것을 가장 緊急하고도 重大한 政策으로 다루어 온갖 힘을 다 기우리고 있다.

지난 9월 22일부터 1週日間 美國 Detroit에서 開催된 世界에너지會議에서도 美國의 Ford大統領을 비롯한 世界 68個國의 에너지政策上 政府要人, 科學技術者 및 關聯産業人등 4,500餘名이 모여 에너지危機 克服方案을 論議하였다. 이 會議에 參席하여 듣고 본 이들의 論議를 내 나름대로 要約하면

첫째 : 當面한 石油波動을 克服하기 위하여 適切한 國際協助를 하여야 한다.

둘째 : 石油 및 天然가스의 消費를 制限하고 이에 代替하여 經濟性 및 供給安定面에서 有利한 原子力發電을 國際的 協助下에 積極的으로 開發 活用하여야 한다.

셋째 : 原子力發電의 普及과 더불어 核武器潛在力이 擴散케 되는데, 이로 인한 새로운 危機가 造成되지 않게 核武器擴散禁止를 위한 國際的 協力 및 措置가 必要하다.

넷째 : 原子力의 活用範圍의 擴大, 核燃料의 效率의 利用 및 需給의 安定化와 새로운 에너지資源의 開發에 注力하여야 한다는 것이다.

原子力發電은 人類가 當面한 에너지危機의 解決 및 向後 數十年間의 電力供給上 가장 有利한 것임에 틀림없다. 特히 우리나라와 같이 石油, 天然가스, 石炭등의 資源이 없다싶이 缺乏된 나라에서는 原子力發電開發問題는 그 國家의 存亡과 直結된 重大事이다.

우리나라의 原子力發電開發은 國內의 電力需給展望에 對比한 産業 및 技術基盤, 技術技能 및 勞動人力狀況과 資金事情을 考慮 할때, 高度의 技術 및 産業基盤下에서만 生産할 수 있는 原子爐系統 및 터빈發電機系統의 重裝備들을 導入하고 값싼 國內의 技術, 技能 및 勞動人力과 可用國產資材 및 機器를 最大限 活用하여 가장 經濟的으로 原子力發電所를 建設 運營하는것이 當面 課題이며, 이 當面課題를 解決함에 있어서 가장 重要하고도 緊急한 問題가 國內의 A-E(Architect Engineering) 能力을 갖추는 것이라고 確信됨으로 A-E의 機能 組織 및 우리나라의 原子力發電計劃 推進上의 必要性 및 育成方案에 對하여 考察해 보고자 한다.

1. A-E의 機能

原子力發電所 建設事業에 있어서 A-E(Architect Engineering)라 함은 알기 쉽게 말하여 所要裝置들을 選定 購入하여 目的에 適合한 原子力發電所로 組立하고 建設하는 Engineering 이다. 이와같은 A-E의 機能을 大分하여 各機能上의 具體的인 業務內容을 紹介하면 다음과 같다.

1) 事業(Project)管理 및 行政機能

A-E는 電力會社(所有主)의 要求에 符合하고도 效果的인 技術 및 行政活動이 되도록 計劃, 組織, 協助, 指示 및 調整하는 管理責任을 지며 그 細部 內容은 一般的으로 다음과 같다.

가. 事業의 里程碑의 施行計劃 樹立

나. 建設條件과 裝置 및 資材의 供給條件에 符合된 Engineering 및 設計, 認許可 그리고 調達業務에 대한 細部施行計劃表의 作成

다. 設定된 施行計劃을 效果的으로 遂行함에 必要한 事業機構 및 人力의 構成

라. 設定된 業務內容, 施行計劃 및 組織을 反映한 Engineering 費의 推算.

마. 業務內容 즉 Engineering 및 設計, 認許可, 物資調達, 品質保障과 其他活動들에 대한 進展 및 費用을 監視 報告하는 管理系統의 施行.

바. 業務內容에 對한 綜合的 進展 및 費用 報告書의 作成.

사. 業務內容에 屬하는 모든活動에 대한 指揮 調整 및 必要에 따른 豫防 및 改善 活動

아. 業務遂行上 要求되는 下請者들 또는 用役者들의 評價 選定 및 管理

자. Engineering, 設計, 그리고 調達活動의 建設과의 協助

차. 會計, 製圖 및 書信管理, 月間報告, 人事管理등의 行政節次의 設定

2) Engineering 및 設計機能

A-E는 原子力發電建設事業의 始作에서부터 商用運轉에 이르기까지 電力會社를 위한 다음과 같은 일을 한다.

가. 適正爐型 및 容量을 選定하기 위한 技術的 經濟的 妥當性 調査

나. 敷地의 評價 및 選定

다. 選定된 敷地에 對한 다음과 같은 調査의 計劃樹立 및 施行

- (1) topography(地形)
- (2) geography 및 demography(地理 및 人口)
- (3) land and water use(土地 및 水源利用)
- (4) meteorology(氣象)
- (5) hydrology(水理)
- (6) geology and seismology(地質 및 地震)
- (7) ecology(生態學)
- (8) other environment features(其他 環境關係)

라. 設計上の 敷地에 對한 地震 및 其他 基準의 導出

마. 原子力蒸氣供給系統(N.S.S.S.) 및 核燃料에 對한 仕様書作成, 入札施行 및 應札의 評價와 供給者 選定

바. 熱利用 및 發散系統의 最適化, 터빈 및 發電機와 其他 重要部品の 容量 및 其他 諸元의 決定, 主要系

統에 對한 flow diagrams와 one-line diagrams의 作成

사. 敷地의 配置, 發電所의 全般的 構成 및 主要裝置의 配置圖 作成

아. 主要한 構造, 部品 및 系統에 對한 地震分析 및 發電所의 安全性分析.

자. 核物理 및 放射線차폐分析和 設計

차. 調達業務支援을 위한 所要裝備의 入札仕様書作成, 應札評價 및 供給者의 設計圖 및 試驗記錄의 檢討

카. 建設에 使用될 細部設計圖 및 仕様書의 作成

타. 發電所의 始動, 試驗 및 運轉에 必要한 系統設計記述, 操作說明書 및 節次의 作成

타. 設計圖 및 仕様書에 對한 適切한 理解를 위한 現場 支援

하. 發電要員의 訓練 및 始動支援

3) 認許可 機能

A-E는 다음과 같은 認許可業務에 있어서 發電會社를 支援한다.

가. 建設許可를 위한 豫備安全性分析報告書 및 環境分析報告書와 其他 所要書類의 作成

나. 運轉許可取得에 必要한 最終安全性分析報告書 및 其他報告書와 所要書類의 作成

4) 品質保障(Q. A. : Quality Assurance) 機能

美國에 있어서 A-E의 Q. A. 業務는 美國法規 10 CFR 50 附錄 B(Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants)와 ASME Section III (Boiler and Pressure Vessel Code)에 規定된 要求條件에 맞도록 만들어진 自體의 Q. A. Manual에 따라 行하여 진다. 이와 같은 Q. A. 機能을 細分하면 다음과 같다.

가. 主要 施設, 部品 및 裝備에 對하여 A-E가 行하는 Engineering, 設計 및 調達에 關한 Q. A. 計劃의 樹立

나. Q. A. 施行節次의 作成

다. "프로젝트"의 規準(Criteria), 設計, 計算 및 製圖에 對한 獨立的 再檢討를 監事

라. 購買仕様에 對한 設計檢討를 監事

마. 供給者提議에 對한 設計檢討를 監事

바. 供給者의 Q. A. 監督計劃에 對한 監視

사. Q. A. 報告書 및 書類의 作成 保管

5) 建設 連絡 機能

原子力發電所를 效果的으로 建設하기 위하여 Engineering 및 設計, 物資調達 그리고 建設등의 諸活動은 綜合調整되어야 한다. A-E는 이와같은 目的을 위하여 下

請建設活動과의 連絡機能을 갖인다.

6) 物資調達機能

物資調達は A-E의 協助下에 所有主(電力會社)가 直接 施行하던가 A-E가 委託받아 施行한다. 調達業務上의 機能은 調達企劃의 樹立, 入札仕様の 作成, 入札評價 및 選定, 供給品の 製作 및 納品에 對한 檢査를 하는 것이다.

2. A-E의 機構 및 所要人力

1) A-E 機構

美國의 4個 A-E社를 視察하고 그들의 發電關係 A-E機構를 비교해 보면 各社는 全體의인 運營機構에 따른 약간의 差는 있었으나 基本的인 構成에 있어서는 大同小異하였으며 그 典型的인 機構를 圖示하면 그림 Ⅱ-1과 같다.

그림 Ⅱ-1에서 볼 수 있는바와같이 原子力發電所 建設을 위한 A-E는 一般的으로 Project 中心으로 構成된다.

A-E社를 代表하는 責任者(一般的으로 Power Divi-

sion Director: Vice President)와 電力會社가 契約을 맺고, A-E社 代表者는 數名の 專門分野別의 CIEF Engineer들과 Q. A. Manager 그리고 그 事業을 直接 責任질 Project Manager를 둔다.

Chief Engineer들은 各己 專門分野에 있어서 모든 Project들의 技術問題를 責任지며 각 Project에 配屬된 Lead Engineer들을 技術面에서 指導支援한다.

Q. A. Manager는 모든 Project의 品質保障業務를 獨立的으로 수행하며 Project마다 Project Q. A. Manager와 Q. A. Engineer들을 두어 品質保障業務를 遂行케 하며 政府規制上의 A-E 擔當 Q. A.를 責任진다.

Project Manager는 그림에 直系의 Engineering Manager와 Planning and Control Engineer, Procurement Manager, Construction Liaison을 두어 各己 前述한 A-E 機能을 遂行케 한다.

Engineering Manager는 Engineering 業務遂行上의 中心體인 各專門分野別의 Lead Engineer와 Lead Licensing Engineer, Administrative Engineer 그리고 Computer, Analysis 등의 支援要員을 가진다.

Lead Engineer들은 A-E 機能中の 核心機能인

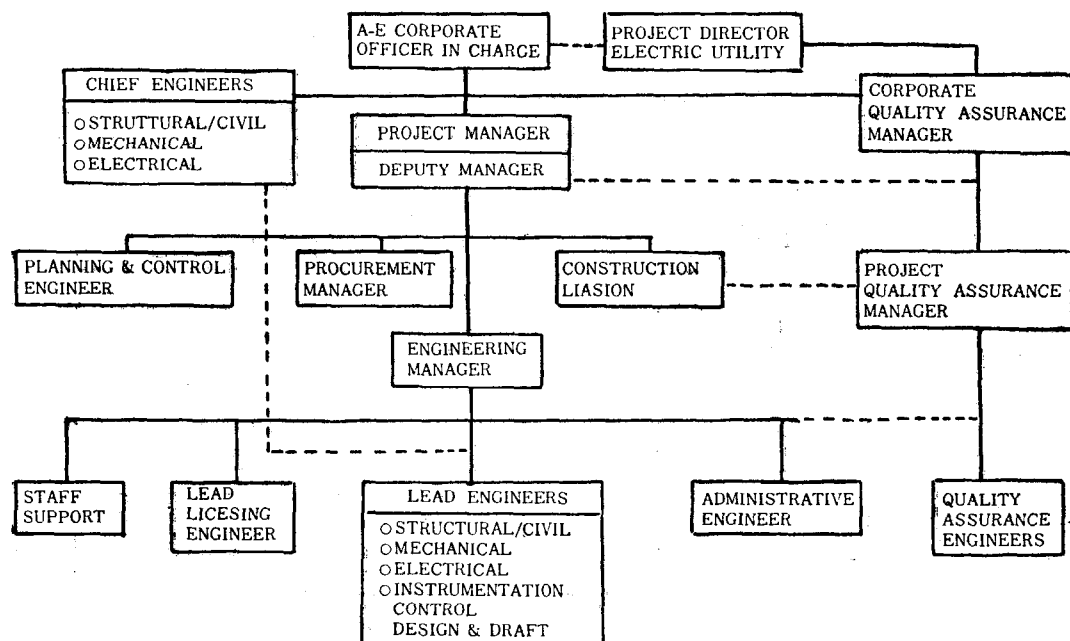


그림 Ⅱ-1. Typical A-E organization for nuclear power plant project

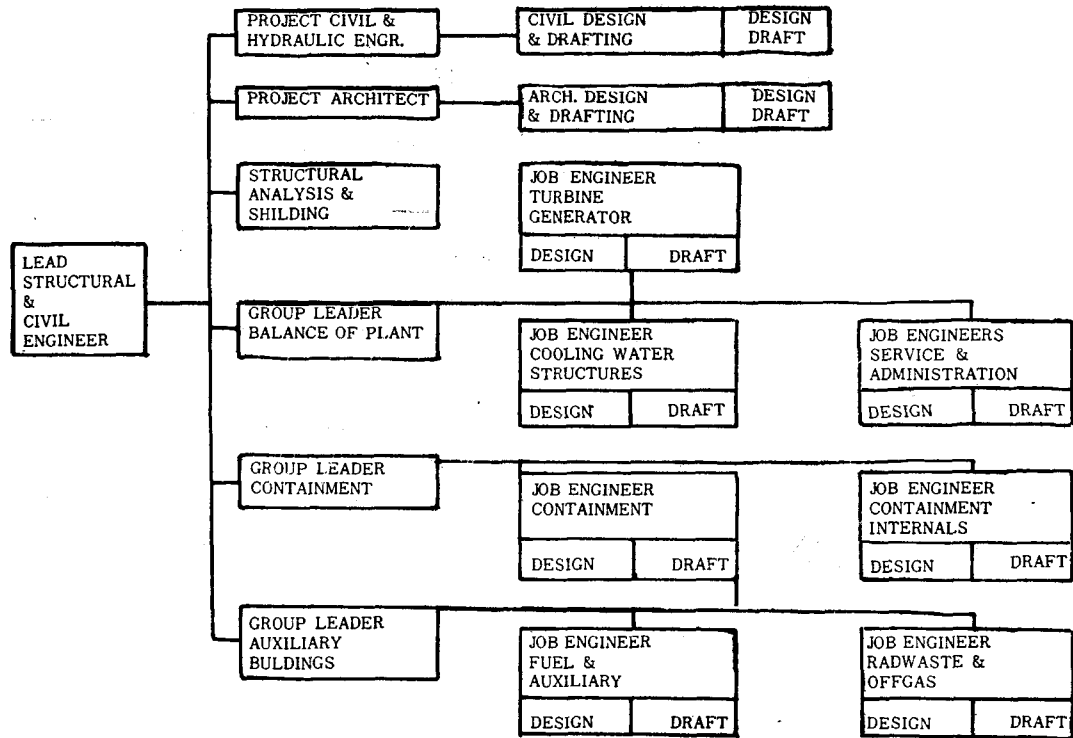


그림 I-1-1. Lead's organization structural and civil engineer

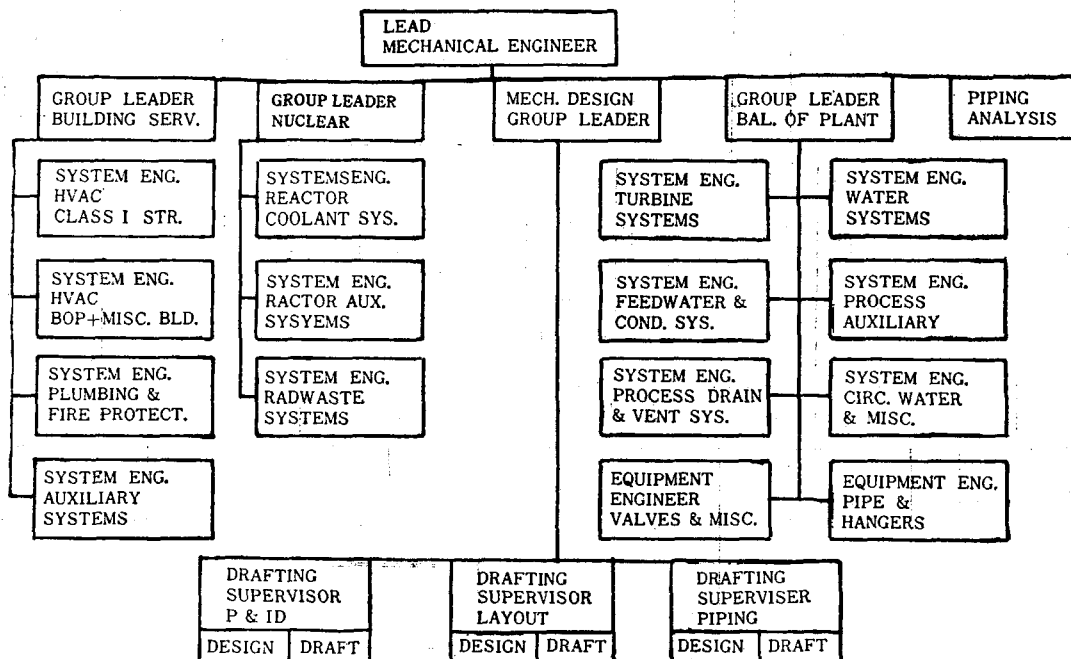


그림 I-1-2. Lead's organization mechanical engineer

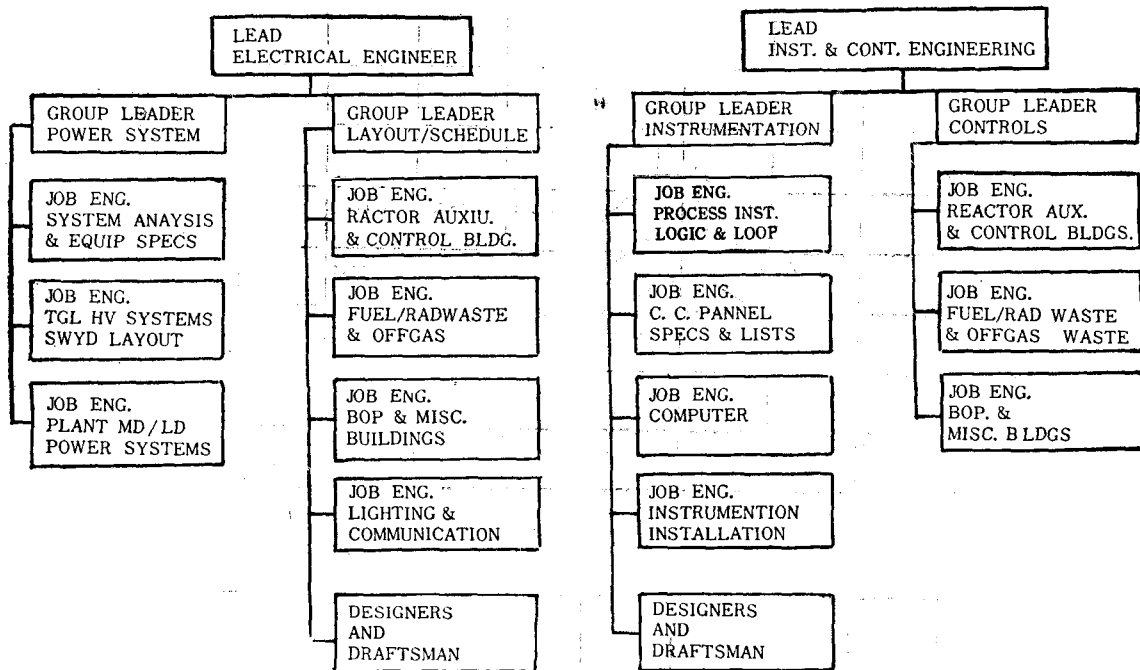


그림 I-1-3. Lead's organization elec trical engineer instrumentation and control

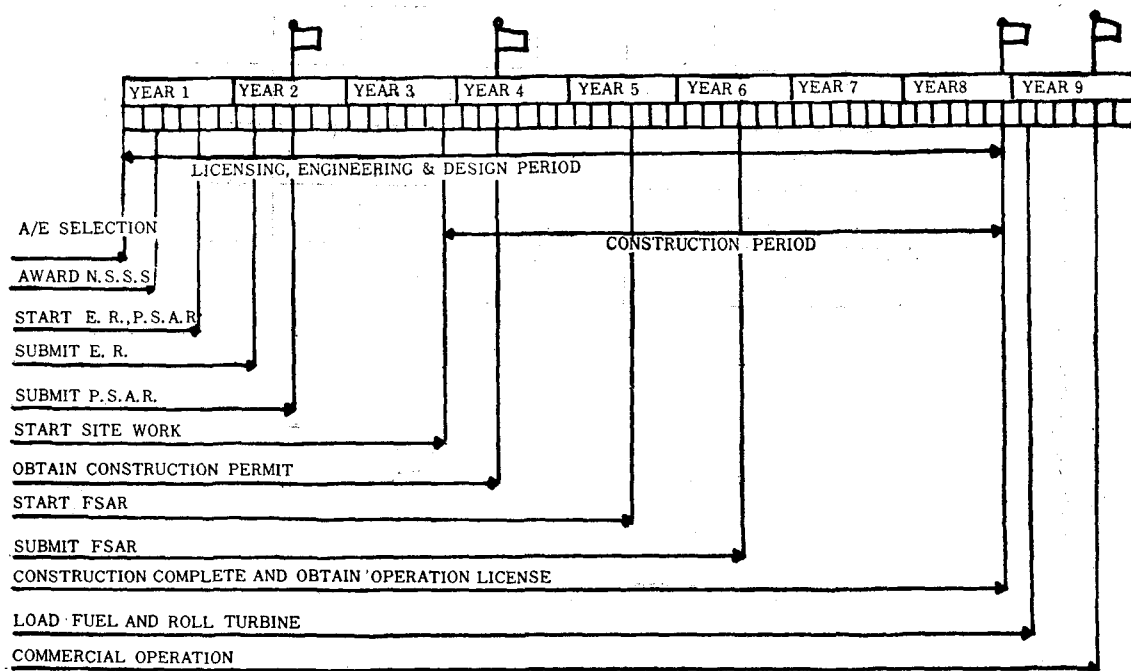


그림 I-1. Nuclear power plant overall schedule & milestones

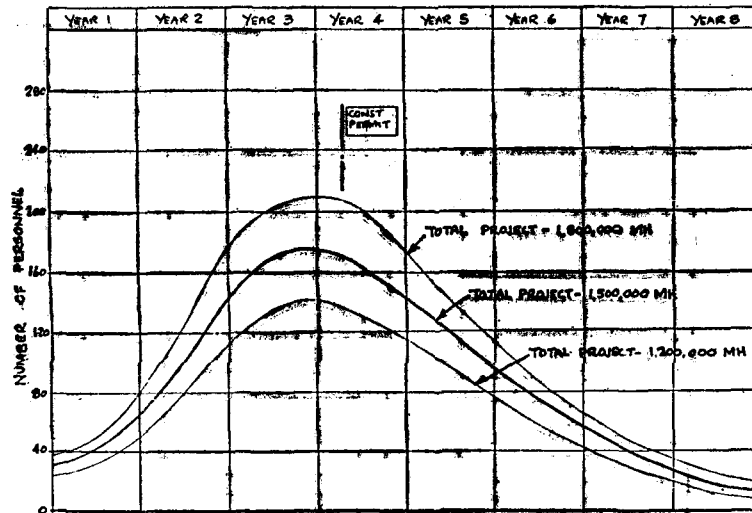


그림 I-3. Total project manpower requirements

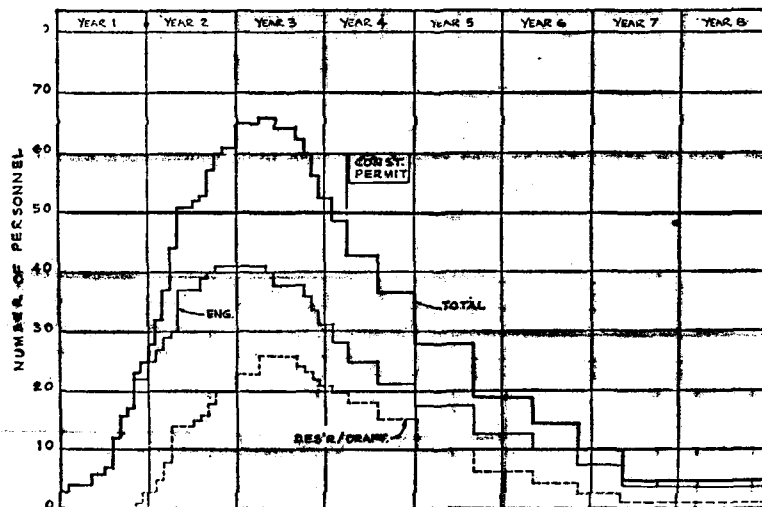


그림 I-3-1. Civil/Struct/Arch. manpower

Engineering 및 設計 製圖를 직접 수행하는 專門分野別 責任者들로서 그림 I-1-1~3과 같은 各己의 組織을 갖 이고 있다.

2) 所要人力

原子力發電所 建設事業에 所要되는 A-E 人力은 다음과 같은 條件에 따라 달라진다.

- 全般的인 事業計劃
- Engineer 및 Designer 의 質과 可用性
- 許可 및 政府規制上의 要求條件

○ 技術開發 및 安全條件에 따른 設計變更度

○ 公衆의 原子力發電에 대한 許容態勢

以上과 같은 條件은 人力뿐만 아니라 建設工期 및 所要人員數에 짜자 큰 影響을 미친다. 美國에 있어서는 過去 數年間 安全條件이 嚴格해짐에 따라 A-E 所要人力은 增加해 왔으며, 過去에 單一原子力發電所 一基建設에 800,000人時(Manhours)~1,200,000 Manhours의 A-E 人力이 所要된 것이 앞으로는 1백20만~1백80만 Manhours가 소요될 것으로 推算된다. 그리고 2基1組의 原子力發電所建設에는 1백80만~2백50만 Manhours

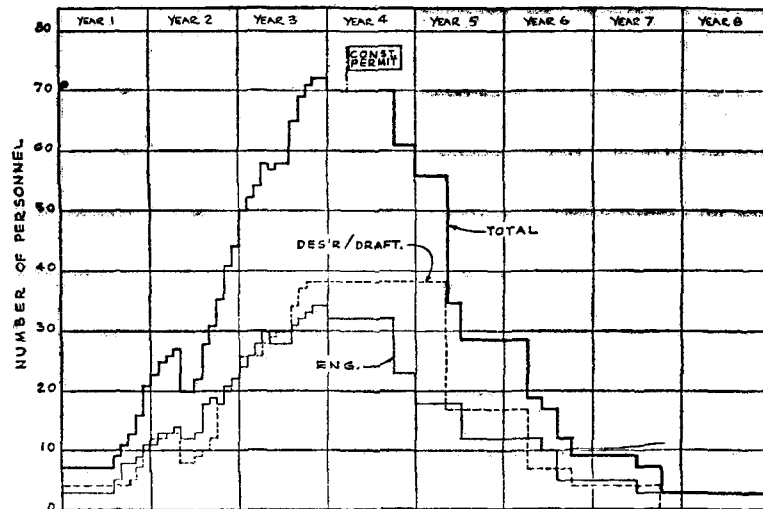


그림 11-3-2. Total mechanical manpower requirements

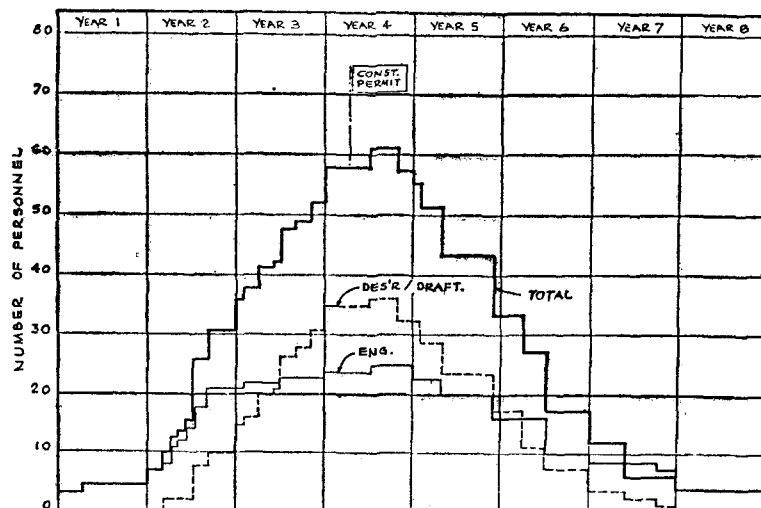


그림 11-3-3. Total Elect./Instr. Manpower Requirements

가 소요될 것으로推算된다.

그림 11-1와 같은 原子力發電所建設의 全般的施行計劃 및 里程標에 따라 單一基原子發電을 건설할때 소요되는 A-E 總所要人力分布는 그림 11-3과 같고, 各專門分野別所要人力分布는 그림 11-3-1~3과 같다. 이들 所要 A-E 人力을 機能別로 集計하면 표 11-1과 같다.

3. 原子力發電所建設方式과 A-E의 必要性

1. N.S.S.S. 供給者와의 Turn-key 契約에 의한 建設
原子力發電이 商用化되는 初期(1955~1966)의 美國에

있어서는 原子力發電所를 所有한 電力會社나 發電所를 設計建設하여야 할 A-E 및 建設會社들이 原子力發電에 대한 技術基盤이 不充分하여 各己의 機能을 責任지고 遂行할 수 없는 狀態였다. 따라서 原子力蒸氣供給系統 (Nuclear Steam Supply System: N.S.S.S.)을 開發製作한 N.S.S.S. 供給者가 發電所의 全體的 機能을 保障하고 完全建設된 原子力發電所를 電力會社에게 파는 Turn-key 契約을 하게 되었다.

大部分의 原子力發電所導入國도 初期의 第1號~2號基까지는 이 Turn-key 契約에 의하여 導入建設하였다.

이와같은 Turn-key 契約의 방식에 의한 建設은 技術

표 1-1. Project manhour estimate by function
(Conservative Assumption)

Engineering, Design and Drafting	Manhours
Engineering, Project Management and Corporate Support	80,000
Planning, Scheduling and Estimating	30,000
Construction Liaison	20,000
Cicensing	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/Instrumentation	391,000
Staff Support	50,000
Clerical Support	46,000
Total	1,500,000
Quality Assurance	100,000
General Services	
Procurement Support	20,000
Administrative Engineer and Clerical Staff	180,000
Total	200,000
Total Project Manhours	1,800,000

基礎이 없는 所有主로 하여금 安心하고 原子力發電所를 導入할 수 있게 하였으나 施設經驗上 많은 問題點이 提起되었다.

첫째 : A-E 및 建設上의 專門經驗이 없는 N.S.S.S. 供給社가 이를 責任지고 있음으로 해서 非經濟的이다.

둘째 : 總建設資金의 10%程度分の N.S.S.S.를 供給하는 者가 專門分野外의 業務를 擔當하여 100%分을 保證하기에는 너무나 모험이 크며, 損害가 크다.

셋째 : 所有主인 電力會社側에서 볼때 N.S.S.S. 供給者가 保障하는 것이 實事故時의 損害에 比하여 無意味하다

넷째 : 傳統的으로 所有主(電力會社)側에 고용되어 所有主側權利를 代行하는 A-E가 相對方 供給者側에 고용됨으로서 不合理하다.

以上과 같은 理由로 Turn-key 契約方式은 美國內에서는 止揚된지 오래이며, 大部分의 原子力發電所導入國도 專門 A-E 社고용에 의한 建設과 並行하여 自國內의 專門 A-E 社의 育成 또는 自國電力會社의 自體 A-E의

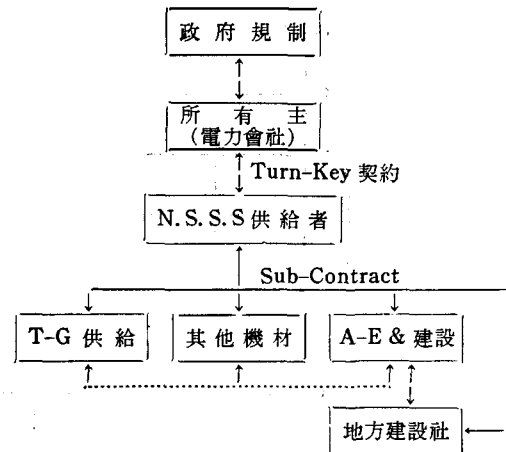


그림 1-1: Turn-key 契約

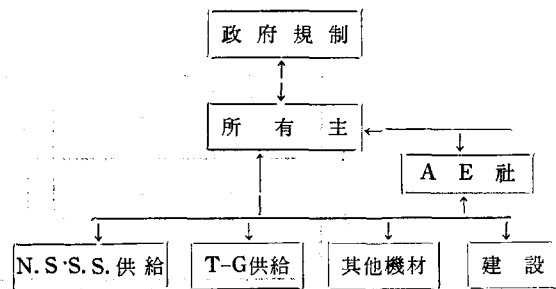


그림 1-2: A-E 社 고용에 의한 建設方式

育成에 注力하고 있다.

2. A-E 社 고용에 의한 建設

美國의 電力事業은 傳統的으로 電力會社, 發電機器製作社 그리고 A-E 및 建設會社로 分業化되어 있으며, 發電所는 所有主인 電力會社가 A-E 및 建設會社를 고용하여 發電機器를 製作社로부터 購入하여 建設해 왔다 原子力發電所도 商用化初期인 1955년부터 66년 사이에는 Turn-key 契約이란 變態的 方式으로 建設되었으나, 이제는 完全히 傳統的方式인 A-E 社 고용에 의한 建設方式을 擇하고 있다. 이 方式의 利點은

첫째 : A-E의 專門化 및 能率化를 期함으로서 經濟的이다.

둘째 : 所有主의 自主性이 向上된다.

3. 自體 A-E에 의한 建設

A-E의 專門化 및 能率化를 期할 수 있을 만큼 自體內의 原子力發電所建設計劃이 큰 규모인 電力會社는 自體의 A-E를 가지는 것이 自主적이고도 安定된 發電計劃推進上 바람직하다. 美國의 T.V.A. 등 大電力會社는

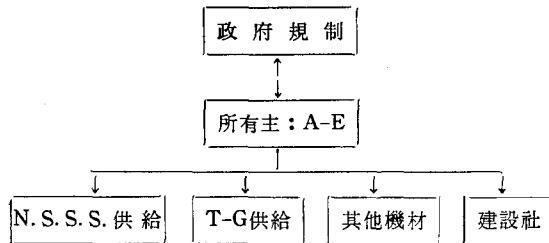


그림 Ⅲ-3: 自體 A-E에 의한 建設方式

年間 2基以上の 原子力發電所 建設計劃을 推進하고 있으며 自體 A-E에 의한 經濟的이고도 安定된 計劃推進을 하고 있다.

4. A-E의 必要性

1967~8년 사이에 原子力發電所建設費가 最低價格이 됨을 契기로 하여 世界的으로 原子力發電所建設이 促進되어 原子力發電所 建設價格은 漸次로 오름세를 보여오다가 1973년의 石油波動으로 因하여 火力發電費가 急上昇함에 따라 原子力發電所建設은 大幅促進되어 供給能力이 需要를 充足시키지 못할 危機에 이르렀다. N. S. S. S 및 T-G 系統 等の 機器裝置는 需要에 따른 生産施設擴充으로 短時日內에 供給不足을 解消시킬 수 있으나, 專門技術人力으로 이룩되는 A-E는 美國內에 있어서 專門技術人力 不足現像으로 短時日內에 需要를 充足하기는 極히 어려운 狀態이다.

따라서 安定된 原子力發電計劃 推進을 위하여 各國은 自體 A-E 能力을 갖추지 않으면 안된다.

그리고 經濟面에서 考察할때 A-E에는 總建設資金의 10~15%에 該當하는 莫大한 費用이 所要되는바 이는 純粹한 技術人力費인 것이다. 우리나라는 앞으로 每年 60~100萬 KW 級 原子力發電所를 1基씩 建設하여야 할 形便인데, 이에 每年 5億~8億弗의 建設資金이 所要되며, A-E 面에도 年間 6천만弗~1億弗이 所要될 것이다. 따라서 A-E 面 國內人力으로 行하였을때 아무런 資材의 消費없이 年間 1億弗 가까운 外貨를 節約하게 된다. 이것은 稼得率 10%의 輸出을 10億弗한 것과 같은 效果를 갖는다. 뿐만 아니라 自體 A-E 能力을 갖추므로 國內의 값싼 勞動力과 國產資材를 效率的으로 活用할 수 있게 되고 그 結果 總建設資金의 約 60%까지는 國內勞動力과 國產建築資材 活用으로 充當할 수 있게 될 것이다. 이는 年間 3億~4億弗의 外貨節約效果를 가져온다.

그리고 A-E는 原子力發電의 가장 基礎的 段階인므로 이의 達成은 自立的原子力開發의 基本이 되는 것이다.

4. A-E의 育成方案

A-E의 能力은 어떤 專門分野의 한 Engineer 個人의 能力이라기 보다는 各專門分野의 多數의 Engineer 들이 有機的으로 組織化되어 發揮할 수 있는 機構의 能力이다.

우리나라에는 個個人으로 볼 때 比較的 資質이 우수한 값싼 多數의 技術人力을 갖고 있다. 그러나 이들 個個人은 A-E 組織上의 Engineer 로서 活動해본 經驗도 없으며 訓練조차 되어 있지 않다. 國內 A-E 育成은 이들 個個人을 有機的으로 組織化하고 組織體中の 1人으로서 訓練하는데 注眼點을 두어야 할 것으로 생각한다.

大部分의 原子力發電所 導入國들은 그들의 第1號基를 導入할때부터 그 發電所의 運營 및 補修要員 養成뿐 아니라 後續될 原子力發電所 建設을 擔當할 A-E 育成에 注力해 왔다. 그 結果 伊태리, 스페인, 벨지움, 스웨덴, 노르웨이, 멕시코, 브라질, 自由中國等의 導入國들은 이미 80%以上の A-E 能力을 갖추게 되었다. 이들이 施行한 A-E 育成方法을 檢討해 보면 다음과 같은 3種의 方案으로 分類된다.

첫째: Italy 와 같이 火力發電의 A-E를 가졌던 나라는 火力發電所의 A-E 要員을 原子力發電開發國에 派遣하여 原子力發電所 建設上의 問題點을 習得케 하여 이들로 하여금 原子力發電所 建設上의 A-E 機構를 組織케 하여 國內建設에 活用한다.

둘째: 自由中國等은 第1號基 導入時에 A-E 社를 고용하고 그 고용契約上에 A-E 要員育成 條件을 넣어서 A-E를 訓練育成한다.

셋째: Brazil, Spaine 等は 美國의 專門 A-E 社와 自國機關과 Joint Venture 를 맺어서 國內建設의 A-E 業務를 그 Joint Venture 에게 주어서 On-Job 訓練을 통한 A-E 育成을 하고 漸次로 國內側 A-E 機能을 擴大하여 A-E 自立을 期한다.

셋째 方案은 今年初부터 美國內 A-E 社들이 受諾하기 始作한 方案으로서 A-E 育成上 가장 有利한 方案이라고 볼 수 있다. 73년도부터 急激히 增加한 原子力發電所 建設에 따라 美國內 A-E 社는 技術人力不足 波動을 겪고 있으며 이의 解決案으로서 導入國側의 訓練되지 않은 Engineer 들을 大量 無料로 얻어서 A-E 社의 初任 Engineer 와 같이 訓練시키고 業務를 거들게 하여 人力難을 解消시키며 한편으로는 相對方國의 A-E 機能을 育成해 주는 方法이다. A-E 育成國으로 볼때는 別

途의 訓練費도 支拂하지 않고 相對方 A-E 社의 初任社員과 같은 待遇下에 效率的인 On-Job 訓練을 받을 수 있음으로 滿足스럽다.

우리나라의 A-E 育成方案은 셋째案과 같이 原子力研究所 또는 電力會社(原子力發電公社)와 美國內의 適切한 A-E 會社와 Joint Venture 를 構成하여 그 Joint Venture 에게 앞으로의 建設 A-E 業務를 주어 A-E 育成을 하는 것이 가장 效率的이며 經濟的인 育成方案이 되리라고 思料된다.

初期段階에 있어서는 既成 Engineer 中 數名을 韓國側의 Project Manager, Planning and Control Engineer, Procurement Manager, Construction Liaison, Q. A. Manager 로 任命하여 美國의 A-E 社에 보내어 相對 A-E 社側幹部要員業務를 見習케하고 大學 또는 大學院을 卒業한 多數의 Engineer 를 A-E 社에 보내어 A-E 社의 新入社員과 같이 訓練받고 配屬되어 初步的 業務를 遂行케 함과 同時에 A-E 社의 評價에 따라 Job Engineer, Group Leader, Lead Engineer 까지

可及的 有能한 者는 빨리 進級시켜 核心機構를 構成케 하고 歸國時는 그들이 使用하던 資料 文獻을 가져와서 國內에서도 同一한 活動이 可能토록 한다.

그리고 또 한편으로는 A-E 社의 指導要員을 韓國에 불러서 國內의 Design 및 Draft 를 指導監督케 하여 國內에서도 On-Job Training 을 並行實施한다.

以上과 같은 方法으로 育成하면 初期 1~2年間은 訓練期間이 될 것이고 그후부터는 每年 20%程度씩 擔當業務範圍를 擴大시켜 나가서 約 8年後 즉 처음으로 始作한 原子力發電所가 完工稼動될 때에는 100%의 A-E 能力을 갖추게 될 것이며 그때에는 初任에서 始作한 Engineer 中 가장 優秀한 者들이 Project Manager 를 비롯한 各 manager 와 Lead Engineer 가 되어 名實相符한 業務遂行을 하게 될것으로 본다. 그리고 4~5年後 그들의 A-E 能力이 50%를 超過할때에는 Joint Venture 의 美國 A-E 社와 共同으로 國內業務뿐 아니라 海外業務를 契約받아 遂行케 됨으로서 年間 約 2千萬弗의 外貨획득을 할 수도 있게 된다.