

原子力發電所의 設計와 엔지니어링

후 基 祚

<韓國原子力技術株式會社>

1. 머릿말

1973年은 人間의 生活方式를 變革시키는 전환점의 時였다. 石油의 賦存價値를 最大로 活用한 아랍권의 단결은 그 동안 世界人類가 마치 無限한 自然原素인 것처럼 취급하고 使用해 왔던 石油를 有限하고 高價의 에너지源으로 탄바꿈을 시키고 脫石油의 章을 到來하게 하였다.

石油를 대체하는 에너지는 자연발생적인 에너지, 즉 風力, 太陽熱, 水力, 地熱, 潮力 등과 자연현상을 이용한 에너지, 즉 海水溫度의 差, 有機質의 分解가스, 自然鑛物을 이용한 에너지인 石炭, 油頁岩, 그리고 科學技術을 應用한 原子力으로 大別할 수 있으며 現在로서는 經濟성과 實用面에서 단연 原子力이 뛰어나다 하겠다.

原子爐는 產業革命以後 인류가 創案한 最大의 動力爐로 產業革命直後 英國에서 일어난 저항과 비슷한 대우를 받고 있으나 賦存에너지源이 빈약한 국가에서는 電源으로 크게 活用되고 있으며, 현재로는 核分裂을 이용하고 있으나 점차 核融合을 이용한 無公害의 에너지 생산으로 방향 전환이 기대되고 있다.

韓國은 2,000年代까지 約 20~30基의 原子力發電所를 建設하여 전체 전력에너지의 約 60% 이상을 原子力으로 대체할 計劃으로 있다.

原子力 發電所 建設은 높은 建設비와 安全性 確保라는 어려움을 안고 있으며 長期間의 建設 기간때문에 치밀한 長期的 計劃下에 이루어 지고 있다. 이러한 高價의 長期 Project를 初期에

서부터 치밀한 계획하에 設計案과 같이 進行시켜 工期와 예산상의 차질을 초래하지 않기 위해서는 發電所의 受注段階에서부터 完工段階까지 모든 엔지니어링業務에 종사하여 所有主의 意思에 맞도록 일을 形成해 가는 집단을 活用하고 있는데 專門技術用役會社(Architect/Engineering Co.: A/E)의 主機能은 이러한 일을 하기 위해서 設立된 것으로 특히 原子力 分野에서는 그 必要性이 增大되어 왔다.

여기에서는 原子力 發電所의 建設에 따른 A/E 會社의 役割과 주요기능 및 활동내용을 살펴보고 現在 우리나라의 電力供給을 原子力發電에 依存 하려는 時點에서 必然的으로 要求되는 A/E業務의 土着化作業과 展望을 記述하고자 한다.

2. A/E의 役割과 機能

2.1 原子力 發電所 建設事業의 遂行形態

原子力 發電所는 原子爐를 中心으로하여 증기를 공급하는 계통(Nuclear Steam Supply System: NSSS)과 이를 作動시키기 위한 부수 계통을 합하여 構成되는 Nuclear Island(NI), 그리고 在來式 火力發電所 T/G部門과 그 附帶施設과 같은 Conventional Island로 나누어 說明되고 있다. NSSS는 熱容量이 일반 火力發電所보다 크며 放射能 流出에 관한 安全性 確保를 위하여 복잡한 安全施設을 導入하였으므로 在來式 火力發電所의 보일러 施設에 견주어 所要經費가 莫大하고 工事に 어려움이 많은 部門이다. 일반적으로 1,000Mwe 容量의 原子力 發電所 2基를

등시에 건설할 때의 總建設費는 約 1.1兆원에 달하며 건설기간도 보통 6年에서 12年까지 소요되므로 그 사이에 誘發되는 物價上昇의 영향을 적하게 받아 건설비의 增額이 크게 요구된다. 따라서 原子力 發電所를 건설하고자 하는 電力會社는 막대한 소요경비의 준비와 購買, 設計, 建設의 시기적절한 遂行으로 경비를 節減하기 위하여 專門化된 技術用役會社를 參與시켜 原子力 發電所 建設을 돕도록 하고 있다. 단일 電力會社가 全的으로 방대한 原子力 發電所 建設을 책임지고 管掌할 능력이 없을 때에는 어느 特定會社에 完全都給形態(Turnkey Base)로 계약을 맺고 건설업무를 일임하게 되는데 이 때에는 專門技術用役業體의 參與는 불필요하게 된다. 완전도급형태의 계약방식은 완전도급계약자가 책임을 지고 사업수행을 관할하기 때문에 電力會社측, 所有主로서 필요한 제반요구사항이 적절하게 반영되지 못하고 建設費의 節減 및 工期의 短縮을 위한 購買 및 Cost Control에 여러 어려움이 뒤따르게 되므로 현재에 와서 電力會社는 Non-Turnkey Base로 계약하고 原子力 發電所 建設에 이미 說明한 바와 같이 專門技術用役業體(A/E會社)의 도움을 받아 사업을 수행하는 방법을

택하고 있다. Non-Turnkey 방식에는 크게 大別해서 두가지의 방법이 있는데 즉 電力會社가 A/E會社를 完全諮問會社로 사용하고 이 A/E會社가 電力會社를 대신해서 모든 건설사업관리를 하는 방법(그림 2.1(B))과 電力會社가 내부에 專門技術用役會社의 諮問을 받거나 또는 내부에 이러한 機能을 가진 部署를 確保하고 직접 건설 사업을 수행하는 방법(그림 2.1(C))을 사용하고 있다.

현재 韓國에 운전중이거나 건설중인 古里 1, 2號基 및 月城 1號基는 Turnkey Base 계약하에 건설되었거나 건설중에 있으며 5, 6號基와 7, 8號基는 Non-Turnkey Base로서 Bechtel이라는 專門技術用役業體를 諮問會社로 사용하여 수행하고 있다. 美國의 T.V.A와 같은 대규모의 電力會社는 自體내에 A/E능력을 確保하고 있으므로 직접 건설용역을 관장하고 있는 회사가 된다. 專門技術用役會社는 그림 2.1(B)의 경우에는 독자적인 회사로서 原子力 發電所 建設事業에 參與 가능하나 그림 2.1(A)와 (C)의 경우에는 독자적인 회사로서가 아니고 완전도급계약자나 電力會社의 內部機構 또는 諮問機關으로서 A/E역할을 수행하게 된다.

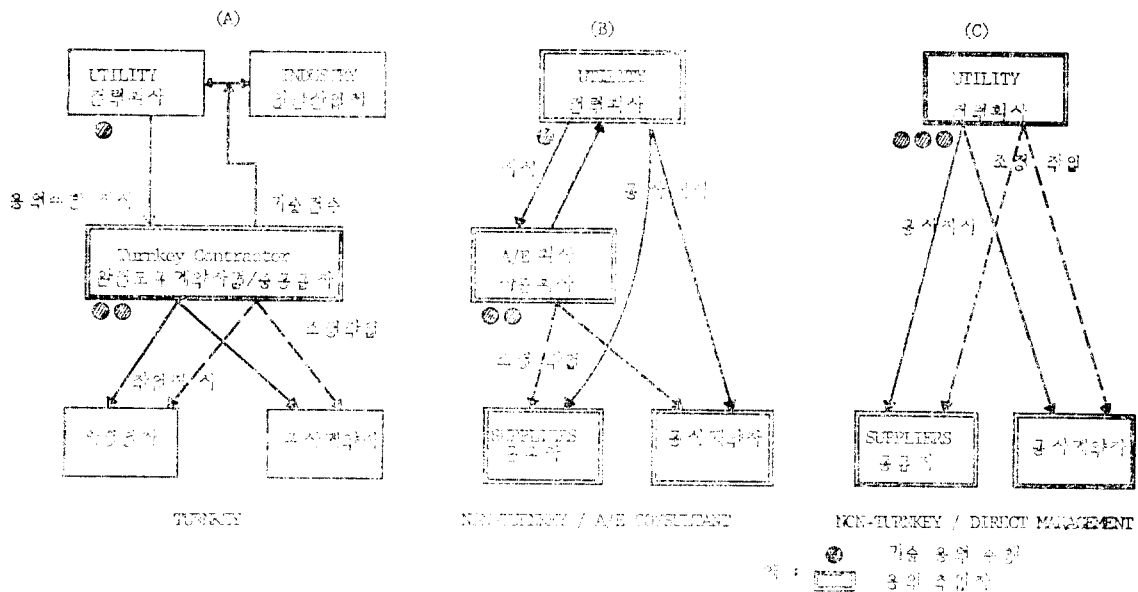


그림 2.1 원자력 발전소 건설 수행방법

2.2 原子力發電所 建設을 위한 A/E의 機能과 役割

일반적으로 A/E의 기능이란 사업수행상 필요한 각分野의 協力關係를 조정하거나 어느 한分野의 수행하기 어려운 일을 처리하여 補完시키고 또는 각分野가 수행한 일을 綜合, 整理, 補完하여 여러分野의 合同努力으로 歸結시키는 기능을 말한다. 특히 原子力發電所의 建設을 위한 A/E로서의 구체적 사업수행 내역은 다음과 같다.

2.2.1 事業의 運營 및 管理

A/E會社는 所有主인 電力會社의 委任을 받아 所有主의 要求조건에 적합하게 原子力發電所의 建設事業을 효과적으로 運營하기 위한 諸般努力을 한다. 각 사업에는 事業책임자(Project Manager)가 있으며 技術 및 行政의 支援를 받아서 다음과 같은 일들을 수행하여 電力會社가 수행하는 사업의 管理 및 運營을 협조한다.

- 가. 사업의 概要 및 計劃作成(Project Criteria & Plan)
- 나. 契約推進 支援(Contract Development Support)
- 다. 사업의 統制(Project Control)

라. 主要사업 日程계획 수립(Critical Path Schedules)

마. 人力 調整(Manpower Allotments)

바. 豫算 設定

사. 사업 進行 報告

아. 所要費用의 監視 및 調整

자. 業務의 推進 및 改善

차. 事業內容의 變更 및 取消

그림 2.2에서 보는 바와 같이 建設事業을 進行시키기 위해서는 事業책임자를 중심으로 필요한 각分野가 協調하여 事業을 추진 관리한다. 建設事業은 設計事務所에서 수행할 수 있는 設計部分과 建設現場에서 이루어지는 部分으로 나누어지며 설계사무실은 設計責任者(Design Manager or Project Engineer)가 主管하여 설계 업무의 技術인 事項과 進行, 그리고 結果를 點檢하여 그 책임을 진다. 建設現場은 建設責任者가 主管하여 각 建設 사업 副責任者와 建設감독자들을 지휘하여 建設을 督勵, 工程時限에 맞도록 建設해 나가도록 조치한다.

以上에서 言及된 조직은 所有主인 電力會社에서 조직하여 事業을 運營하고 각 조직의 一員으로 전문기술용역회사의 專門技術者를 投入하여 事業을 進行시킬 수 있으며 다른 방법으로는 所

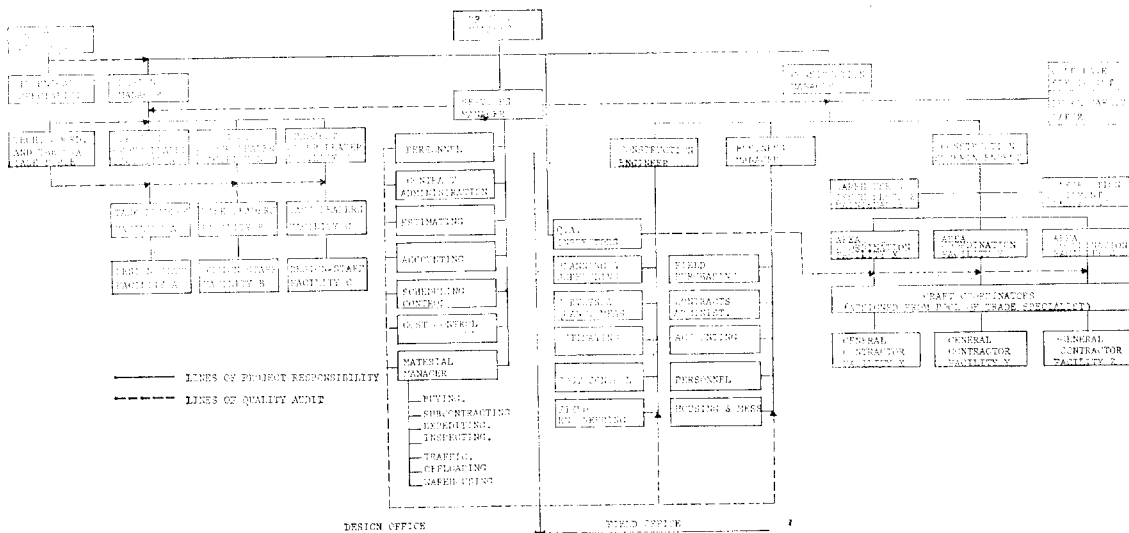


그림 2.2 사업관리조직

有主인 電力會社는 原子力發電所의 建設사업을 總括하는 責任자를 두고 이 責任자가 전문기술 營業회사의 위와 같은 運營조직을 같이 管轄함으로써 사업을 推進할 수 있다. 만일 후자와 같이 거의 모든 사업의 運營권을 전문기술營業회사가 맡게 되면 일반적으로 이를 運營補助시스템 (Management Support System: MSS)이라 부르고 計劃事業의 契約前 活動 (Pre-Contract Activities)과 사업운영을 위한 組織 (Organization), 그리고 사업진행단계에서의 生産 (Production)을 관찰하여 所有主에게 보고, 건의하는 P-O-P작업을 한다. (그림 2.3)

2.2.2 設計및 엔지니어링 역할

原子力發電所의 設計및 엔지니어링 수행방법 및 참여도는 原子力發電所의 購買方法에 따라 조금씩 다르게 된다. 즉 原子力發電所의 購買를 위해서는 발전소 설계및 엔지니어링을 별도로 분리하여 주요한 系統및 部品, 즉 核蒸氣供給設備 (NSSS)와 T/G를 購買하고 여기에 맞추어 기타 발전소의 필요한 설계및 엔지니어링을 A/E에서 하는 방법 (Component Approach)과 原子力發電所를 크게 두 부분으로 나누어 核關聯施設 (NI) 및 기타 一般附帶施設로 나누고 (그림 2.4) 각각이 부분에 해당하는 설계및 엔지니어링은 그 分

野의 主機器供給者, 즉 NI에 對해서는 原子爐施設의 供給者, Conventional部分은 T/G供給者가 맡아서 하는 방법 (Island Approach)이 있다. Island Approach보다는 Component Approach가 설계및 엔지니어링에 관해서 所有主인 電力會社의 요구조건을 많이 反映할 수 있고 事業管理에 직접 紹介할 수 있기 때문에 유리한 점이 많이 있으며, Island Approach는 설계및 엔지니어링에 관해서 責任所在가 뚜렷하고 사업관리면에서 所有主의 큰 노력을 필요로 하지 않기 때문에 다소의 利點이 있다. 일반적으로 큰 電力會社에서는 Component Approach를 하고 있으며 우리 나라의 原子力發電所 5~8號基가 이에 해당된다.

A/E회사로서 설계및 엔지니어링 참여는 Component Approach일 경우에는 뚜렷한 일의 내용과 責任을 가지고 참여하여 主機器인 NSSS와 T/G를 結合, 發電所의 전체적인 설계및 엔지니어링을 수행한다. 이 경우 모든 分野의 사람들이 사업책임자 (PM)를 정점으로하여 一絲不亂하게 用役을 수행하며 동시에 사업책임자는 설계및 엔지니어링에 대해서 Project Engineer의 지원을 받는다.

그림 2.5는 原子力發電所 5~8號基의 A/E會社인 美國 Bechtel회사의 엔지니어링을 위한 組

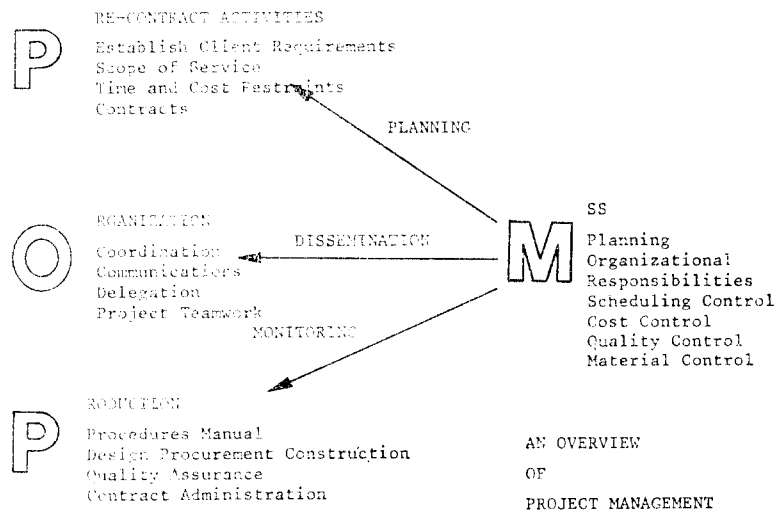
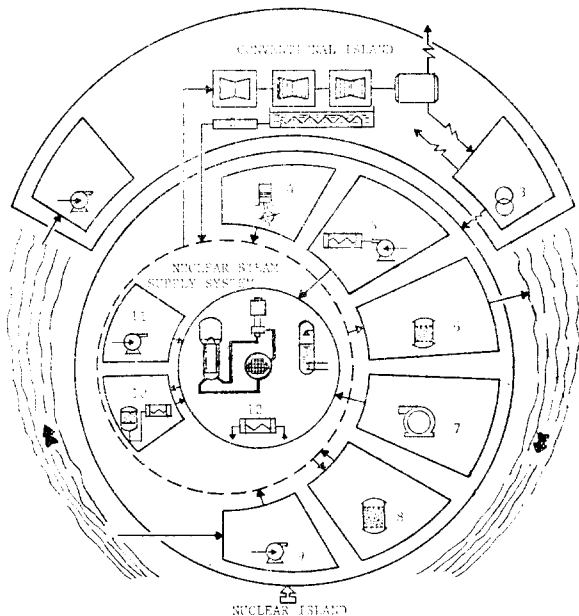


그림 2.3 사업관리와 P-O-P작업



1. Conventional island feedwater system.
2. Feedwater heating
3. Electricity supply.
4. Emergency diesel generators.
5. Containment spray system.
6. Waste processing system.
7. Nuclear rooms ventilation system.
8. Boron recovery.
9. Nuclear island feedwater system.
10. Chemical and volume control system.
11. Safety injection system.
12. Residual heat removal system.

그림 2.4 Nuclear island와 conventional island

ENGINEERING FUNCTIONAL ORGANIZATION

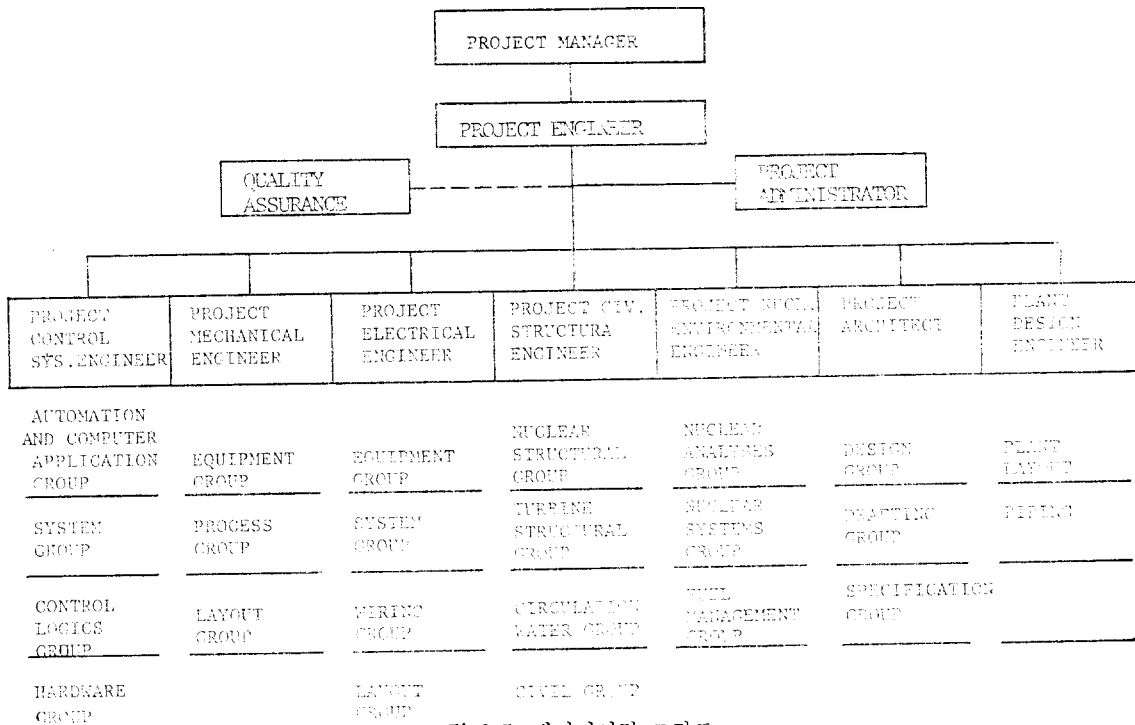


그림 2.5 엔지니어링 조직표

織表로서 美國 A/E會社의 典型的인 엔지니어링 사업수행 조직표와 같다. 설계및 엔지니어링分野에 關係서는 Project Engineer가 EGS(Engineering Group Supervisor)와 GL(Group Leader) (Group은 그림 2.5참조)의 계획및 협조를 받아 수행한다.

설계및 엔지니어링 영역은 각分野가 서로 連結되어서 한 설계를 끝내는 일이 많기 때문에 복합적인 성격으로 사업의 運營에 일의 成敗가 깊히 좌우되며 또한 각分野別로 일의 시작과 終結이 相異하게 된다.

그림 2.6은 本社와 建設現場에서 2號基 동시에 建設을 위해서 所要되는 A/E 人力을 나타내고 있다. 일반적으로 機械와 Plant 設計分野, 그리고 土木構造分野가 初期에 많이 投入되며 전기와 계측제어분야는 이들보다 조금 늦게 人力所要의 頂點을 이루게 된다. 이러한 所要人力의 起伏現像은 A/E회사로 하여금 人力管理의 어려움을 주고 있다. 모든分野의 꾸준한 作業量確保가 人力浪費를 줄이는 가장 큰 요소가 된다. 또한 이러한 기록현상이야말로 A/E회사의 필요성도 된다. 電力會社나 主機器供給者들이 단일 또는 수개의 原子力發電所 建設사업에 기록이 심한 人力을 투입하고 계속 유지시켜 나간다는 것은 어려움을 뿐 아니라 불필요하기 때문에 전문 A/E회사를 雇傭하여 필요한 時期에 한해 필요한 人員數를 使用함으로써 建設費의 節減을 퍼할 수 있다.

설계및 엔지니어링에 關한 細部的인 業務內容을 살펴보면 다음과 같다.

가. 電力會社의 요구에 適正한 容量및 爐型의 妥當性調査 또는 選定

나. 原子力發電所 建設敷地의 選定

다. 原子力發電所 建設을 위한 부지환경조사 및 認許可業務지원 환경조사로서는

- ① 地質및 地震에 關한 조사
- ② 人口分布조사(Demography)
- ③ 기상조사(Meteorology)
- ④ 방사능학적 평가(Radiological Evaluation)

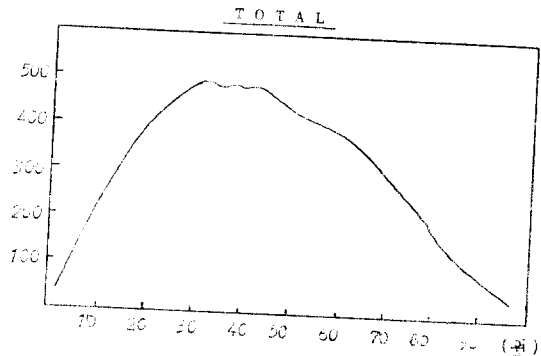
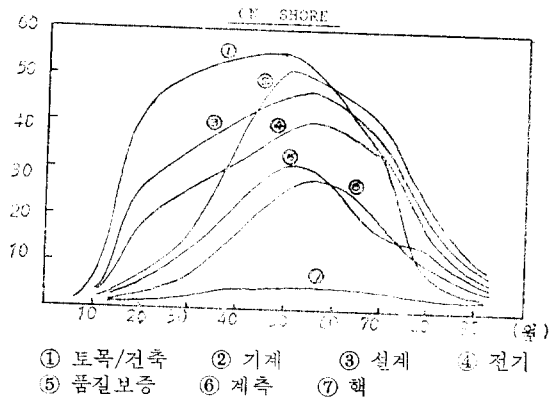
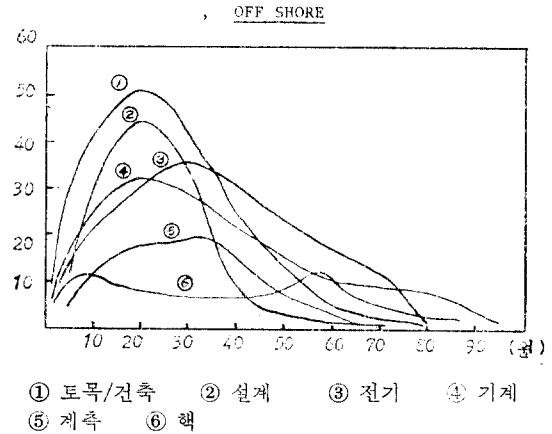


그림 2.6 소요인력(2호기 기준)

⑤ 土壤檢査 등이 포함된다.

라. 主機器(NSSS와 T/G등)및 핵연료에 대한 示方書 작성과 入札書評價

마. 토양조사, 냉각수계통의 위치선정등 土建 관계의 조사및 설계

바. 기계 계통, 熱精算(Heat Balance), 방사

□ 解 說

성물질의 廢棄施設 遮蔽등 기계및 핵기계에 관한 조사및 설계

사. Switchyards, 非常電力등 전기관계의 조사및 설계

아. 발전소의 배치, 구성등을 포함한 발전소 설계

자. 건설에 필요한 기기, 부품에 대한 시방서 작성및 구매활동 보조

차. 발전소의 試運轉및 運轉에 관한 節次書 또는 운전설명서 작성

발전소를 설계할 때는 보통 2단계 즉, 概念設計(Conceptual Design)와 詳細設計(Detail Design)로 나누어 수행하는데 개념설계시에는 類似한 발전소를 참고하여 豫備配置圖(Preliminary Layout)를 작성하고 豫備器機選定(Preliminary Equipment Selection)을 하며 1基의 原子力發展所에 약 80枚의 流通圖(Flow Diagram), 12枚의 발전소 배치도면, Plot Plan, 5枚의 건설도면(Architectural Dwg.), 基準指針書(Criteria Manual), 10가지의 주요계통 설명서, 3개의 주요기기 시방서와 기타 필요한 工學的인 데이터들이 이 과정에서 생산되고 이러한 모든 자료들은 추후 수시로 조정및 변경이 가능하다.

詳細設計는 개념설계시에 얻은 초기 데이터와 도면들을 실제 발전소에 맞추어 정리하고 최종적인 건설 또는 제작도면, 시방서등을 작성하는 과정을 말하며

- ① 최종배치도면 (18)
- ② Area Piping Dwgs. (350)
- ③ Pipe Hanger Details (10,000)
- ④ Equipment Spec. (350)
- ⑤ System Flow Diagrams (100)
- ⑥ Piping & Instrumentation Diagram (100)
- ⑦ Equipment List (350)
- ⑧ Line List (7,800)
- ⑨ Valve List (4,120)
- ⑩ Instrument List (6,870)
- ⑪ Material Requisition (386)
- ⑫ Control Logic Dwgs. (200)
- ⑬ Electrical Elementary Diagrams(1,000)

⑭ Electrical Signal Lines (80)

⑮ Tray & Conduit Dwgs. (300)

표 2.1 작업별 구성비율

Engineering Tasks-Light Water Reactor

Nuclear Power Plant

Typical 1x 1000 MWe size

(Some measures of size-1975)

	Quantity	%
Conceptual studies	50	2
Flow diagrams	100	1
Piping & instrument diagrams	100	3
Logic diagrams	200	1
Electrical single lines	80	1 $\frac{1}{2}$
Elementaries	1,500	5
Plant arrangement drawings	12	1/2
Equipment specifications	350	6
Civil-superstructure	850	$\frac{14}{34}$
Equipment calculations	700	11
Vendor prints	22,000	7
Mechanical drawings	1,000	17
Pipe hangers	10,000	4
Pipe stress	—	8
Electrical layout drawings	300	5
Electrical wiring diagrams	740	5
Civil-site sensitive	250	4
Electrical circuit schedule	—	$\frac{5}{66}$
Cubic Yards of concrete	103,000	CY
Feet of large pipe ($\geq 2\frac{1}{2}$)	98,000	
Feet of small pipe ($< 2\frac{1}{2}$)	109,000	
Feet of cable	4,508,000	
Feet of conduit & tray	440,000/65,000	
Average No conductor/cable	3	
Connections	104,000	
Circuits	20,000	
Instruments	6000 to 7000	
Pieces of equipment	(Major 350-400)	
Tons of structural steel	11,200	
(generic basis)		
Plant area (SF)	139,000	
Plant volume (CF)	15,300,000	

- ⑮ Cable & Wiring Diagram (750)
- ⑯ Circuit Schedules (70,000)
- ⑰ Site Preparation Dwgs. (6)
- ⑱ Excavation Dwgs. (6)
- ⑳ Super Structure Design Dwgs. (350)
- ㉑ Plant Foundation Dwgs. (250)

등이 포함된다. 여기에서 괄호안의 숫자는 도면수 또는 자료의 수를 표시하며 각 작업별 구성비율은 표 2.1에서 보는 바와 같다. 표 2.1에는 原子力發電所 建設에 所要되는 건축자재의 物量도 아울러 표시되어 있으며 그림 2.7은 도면의 제작순서에 따른 生産過程을 보여주고 있다.

主器機(NSSS와 T/G등)에 대한 설계및 엔지니어링은 각국의 특성과 소유주인 電力會社의 構造에 따라 많이 다른 형태를 취하고 있다. 美國의 경우에는 NSSS제작회사(Westinghouse, G. E등) 내부에 전문용역기술진이 있어서 설계및 엔지니어링을 완벽하게 수행하고 있으며 프랑스의 경우에는 Framatome안에 프랑스의 原子力 研究所인 CEA가 있어(30% 주식보유) 원자로와

핵연료에 관한 기술및 엔지니어링을 지원하여 NSSS에 대한 전반적 설계엔지니어링을 하고 있고, 캐나다의 경우에도 AECL이란 국립연구소가 NSSS 내부의 설계및 엔지니어링에 共同參與하고 있을 뿐 아니라 기타 국가에서도 이와 비슷한 형태를 취하고 있다. 즉, NSSS 내부의 설계 및 엔지니어링은 Hardware제작회사, A/E회사, 연구단체가 병합 추진하고 있음이 全般적인 추세라 할 수 있다.

2.2.3 品質保證(Q.A) 기능을 포함한 기타 A/E의 기능

사업의 운영과 관리 그리고 설계및 엔지니어링은 A/E의 주요 기능으로 대부분의 人力이 이 기능을 위해 所要되지만 이 외에도 A/E에는 다음과 같은 주요기능들이 있다.

가. Q.A기능 및 활동

原子力發電所는 그 安全性이 현재까지도 문제의 焦點으로 남아 있어 원자력의 평화적 이용에 대한 論爭의 對象이 되고 있으며 각국마다 法과

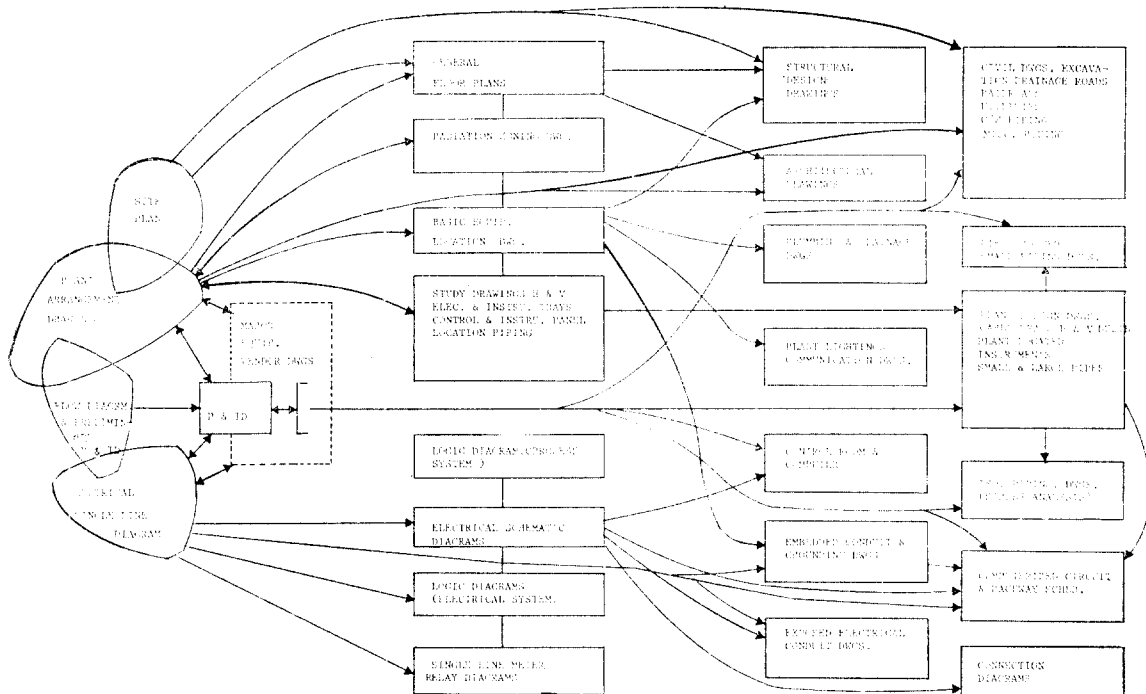


그림 2.7 도면작성 과정도

□ 解 說

規定을 동원하여 안전성 확보에 부심하고 있다. 품질보증업무는 원자력발전소에 所要되는 모든 部品, 系統, 建物들이 계획, 설계된대로 정확히 기능을 발휘하여 事故時에도 公衆의 보건과 건강에 피해를 주지 않도록 충분한 信賴度를 갖도록 監査하는 업무를 말한다. 美國의 10CFR50 APP. B(Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants)가 전 세계적으로 Q.A 기본법과 같이 사용되어 Q.A업무에 대한 기준을 제공하고 여기에 美國의 규제지침(Regulatory Guide), ANSI, ASME등의 Code & Standard를 참고로하여 A/E회사에서는 필요한 부분에 대한 Q.A지침서를 만들고 이에 따라서 사업(Project)의 수행지침을 작성하여 설계 및 엔지니어링에 있어서의 再監査, 供給者에 대한 Q.A 감독계획등의 업무를 수행한다. 표 2.2는 10CFR50 APP. B의 Q.A요건에 대한 항목과 Reg.

Guide, ANSI의 상응되는 항목을 보여주고 있다. 이러한 요건에 맞추어서 A/E회사에서는 품질 엔지니어링(설계 콘트롤을 위한 엔지니어링), 건설품질관리(Construction Quality Control), 품질검증과 기록, 그리고 下級도급자의 생산품에 대한 조사, 공급자의 조달품에 대한 품질관리(감사, 조사, 공급자 품질보증 및 기록계획의 監査), 資材 및 품질서비스등 諸分野에 관한 Q.A업무를 처리하고 있다.

나. 建設工事的 調整 및 監督業務

A/E의 기능은 대부분 여러 分野의 복합적인 일을 수행함에 있어서는 매우 편리하게 되어 있으며 原子力發電所의 방대한 건설사업을 위해서는 설계 및 엔지니어링, 물자구매, 건설계획의 작성 및 점검, 건설현장의 감독, 조사, 건설비의 조정등을 한 묶음으로 합하여 각 分野의 협조하여 제반문제를 해결해 나간다.

표 2.2 Q.A 요건 비교
Quality Assurance Matrix

Requirements	10 CFR 50 APP. B Crit. n	Regulatory guide n	ANSI N 45.2
Organization	I		
Quality assurance program	II	1.28	M45.2
Design control	III	1.64	N45.2.11
Procurement document control	IV		
Instructions, procedures and drawings	V		
Document control	VI		
Control of purchased materials, items and services	VII	1.123	N45.2.13
Identification and control of Materials, parts and components	VIII		
Control of special processes	IX	1.37	N45.2.1
Inspection	X	1.30, 1.58, 1.94, 1.116	N45.2.4, 5, 6, 8
Test control	XI	1.30, 1.58, 1.94, 1.116	N45.2.4, 5, 6, 8
Control of measuring and test Equipment	XII		
Handling, storage and shipping	XIII	1.38, 1.39	N45.2.2, 3
Inspection, test and operating status	XIV		
Non conforming materials, parts or components	XV		
Corrective action	XVI		
Quality assurance records	XVII	1.88	N45.2.9
Audits	XVIII		N45.2.12, 23

다. 기타

A/E회사는 설계및 엔지니어링의 기능에 포함 되어 기 설명된 가치성 평가작업(Value Analysis~Design Economy, Expansion Consideration등), 물자구매(Equipment & Material Purchasing~Specification, Purchase Orders, Receiving Reports, Invoice Approval등), 계약협상및 계약자 선정(Contractor Negotiation & Contractor Selection~Bidder List Preparation, Bid Evaluation, Contractor Negotiation 등)을 별도로 완벽하게 수행한다. 발전소의 試驗과 始動(Start-up)도 별도로 수행하여 技術諮問會社(Consulting Co.)로서의 역할을 다하며 原子力發電所の 認許에 깊이 개입, 電力會社를 대신하여 이를 보조해 줄 수 있다.

3. TMI事故 以後 原子力發電所の 설계 및 엔지니어링 방향

3.1 事故經緯

TMI는 美國 펜실베니아주 해리스버그 근교에 있는 조그마한 섬으로 TMI-I, II號基로 명명된 2基의 원자력발전소가 섬전체를 차지하고 있다. 이 원자력발전소는 미국의 Babcock & Wilcox(B&W)가 NSSS를 설계제작하였으며 Burns & Roe가 A/E를 맡았고 발전소의 운영은 General Public Utility(GPU) 산하인 Metropolitan Edison Co.가 관할하고 있었다.

1979年 3月 28日, 900Mwe급 원자력발전소 TMI-II는 97% 출력으로 자동운전중에 있었다. 운전반의 勤務組長과 2명의 補助員이 이전 근무자들의 작업을 인계받아 復水脫鹽器 탱크 No.7로 부터 樹脂再生탱크(Resin Regeneration Tank)로 옮기는 작업을 계속하고 있었으며 이 작업도중 수지운반관에 수지덩이가 形成되었다. 이 수지덩이를 제거하던 과정에서 물이 流入되어 復水器昇壓펌프, 主給水펌프, 터빈이 트립되었으며, 동일 새벽 4시 터빈트립 8초후 原子爐까지 트립되었다. 이와 같은 사고의 진행과정은 원자력발전소 사고시에 계통및 부품들이 취하게 되

는 전형적인 동작형태에 불과했다. 그러나 加壓器보호벨브의 고장으로 유발된 一連의 추가연쇄 사고는 사고발생확률이 극히 낮은 것으로 평가되었던 노심용융의 사고직전까지 상황을 몰고 갔으며 可燃性가스의 제거문제중 여러가지 어려운 문제들이 노출되었으나 사고후 약 15시간 50분 후인 3월 28일 19시 50분경 더 이상 어려운 사고를 발생시키지 않고 막을 내리게 되었다.

3.2 事故의 調査活動과 勸告事項

TMI사고는 설계와 엔지니어링의 관점에서 볼 때 工學的 安全設備가 정확하게 가동함으로써 격납물질 외부로의 放射能物質 대량유출로 인하여 公衆에 피해를 주게되는 사고가 방지되었고, 이때까지 현실적인 조건하에서의 動作이 의심되었던 非常爐心冷却系統(ECCS)이 설계치대로 정확하고 적절하게 동작되었음을 확인케 되는 결과를 얻었다.

그러나 원자력발전소의 안전성을 위한 사고의 細部調査를 목적으로 GPU의 Met. Ed. Co., NRC認許可담당 조사단, NRC사고경위 조사단, NRC 특별조사단, 카터대통령의 特別委員會, 원자력산업체인 電力研究所 등에서 조사활동을 재개하였으며 그 결과로 NRC의 NRR(Office of Nuclear Reactor Regulation)에서는 이미 認可된 他 原子力發電所の 安全을 위해 TMI사고를 根幹으로 한 報告書를 작성하였다.

1979年 7월에 나온 NUREG-0578은 "TMI-II Lessons Learned Task Force Report & Short-term Recommendations"으로서 設計및 分析에 관한 9개 분야와 運轉에 관한 3개 분야로 구분한 23개항의 短期方案을 발표하였다. 여기에는 설계및 분석에 관한 권고사항으로

- ① 가압기 히터, 릴리프벨브, 안전벨브의 안전설계
- ② 안전벨브들의 개폐표시계, 유량표시계 장치
- ③ 격납용기 격리계통 설계의 개선
- ④ 사고후 발생된 水素의 제거장치
- ⑤ 사고후 사용될 공간의 재점검
- ⑥ 보조급수계통의 자동동작

□ 解 說

⑦ 사고후 제측능력의 향상
 에 관한 사항들이 열거되어 있으며 이때까지 별로 큰 관심을 끌지 못했던 분야의 設計安全性에 눈을 돌리게 하였다. 1979년 10월에 발행된 NUREG-0585, "TMI-Ⅱ Lessons Learned Task Force Final Report"에서는 1차보고서의 내용을 보다 광범위하게 다루고 있으며 1980년 5월에 배부된 NUREG-0660, "NRC Action Plan Developed as a Result of the TMI-Ⅱ Accident"은 구체적인 설계의 변경내용과 범위를 제시하였으나 내용은 NUREG-0578의 권고사항과 비슷하다.

표 3.1은 NUREG-0660중의 216항목 중에서 관련업체별로 해당되는 항목의 숫자를 표시하고 있다.

표 3.1 TMI事故에 따른 조치계획내용

내	容	항 목 수
총항목수		216항목
電力會社	조치항목수	99 "
NRC	조치항목수	117 "
機器販賣會社別	조치항목수	
	CE	65 "
	W	69 "
	B&W	74 "
	GE	77 "

TMI사고를 지켜 본 각국의 전문가들은 自國에서 설계, 제작, 건설된 원자력발전소의 안전성을 점검하였으나 安全對策의 기본방향이 변경되었다든가 某種의 긴급조치를 취한 적은 없으며 이는 TMI사고의 원인이 되었던 비상급수계통과 가압기의 밸브등에 관한 설계가 만족스럽다고 판단이 되었기 때문이다.

TMI사고는 원자력발전소 從事者들에 대한 教育문제도 크게 浮刻시켰지만 結論的으로 원자력발전소의 설계 및 엔지니어링은 능력있는 專門技術用役會社에 依存함으로써 주요계통의 多重性, 獨立性, 보조계통의 完壁性등을 향상시킴으로써 안전성을 高揚해야 한다는 敎訓을 주고 있다.

4. 原子力發電所 設計및 엔지니어링 主導化計劃

원자력발전소의 설계 및 엔지니어링을 國內의 技術人力으로 國內에서 수행하여 원자력발전소 건설에 있어서의 外國依存度를 줄이고 國內의 要件에 알맞는 발전소를 지을 수 있도록 하기 위한 A/E 主導化노력이 원자력 5,6號基의 건설을 始發點으로하여 경주되고 있다.

以上에서 설명한 바와 같이 원자력발전소의 건설은 그 複雜性和 모든 기술의 集約性때문에

우수한 경영능력과 운영관리능력이 확보되어야 하며

특히 NI부문의 안전성확보를 위해서 설계 및 엔지니어링에 참여할

· 우수한 技術人力의 養成과 確保

가 이루어져야 하고 또한 많은 事例의 研究와 설계 및 엔지니어링에 필요한 規格과 표준등

· 關聯技術資料와 설계에 필요한 設備등이 확보되어야 이루어질 수 있다.

이러한 요소들을 調和, 發展시킴으로써 수년 내에 國內의 회사가 원자력발전소 건설사업에 活躍한 A/E기능을 수행할 수 있으리라 생각된다.

4.1. A/E 單一專門化와 KNE의 發足

1977년 우리나라 원자력발전소 5,6號基가 Component Approach와 Non-Turnkey로 건설방식을 바꾸면서부터 國內 A/E전문회사의 育成과 利用이 시급함을 피부로 느낄 수 있게 되었다. 이보다 앞서 韓國原子力研究所에서는 원자력발전소에 관한 전문 A/E회사의 필요성이 증대될 것이라는 예상아래 1975년 10월 1일 미국 B&R사와 50:50 合作으로 KABAR(Korea Atomic Burns & Roe)를 설립, 운영하였다. 그후 전력회사인 한국전력(KECO)과 相關산업체들의 강력한 참여요청에 의해 B&R사의 持分株를 모두 인수하고 1976년 10월 11일 韓國原子力技術株式會社(Korea Nuclear Engineering Services Inc.: KNE)로 개편하였으며 韓電외에 삼부토건, 대

림산업, 한일개발, 대한중기, 동아건설, 현대건설, 대한건설, 강원산업, 삼성중공업, 대우개발, 효성중공업 등의 일반산업체에서도 참여하였다.

특히 우리힘으로 발전소건설사업의 운영과 관리를 할 수 있기 위해서는 A/E를 조속히 土着化시켜야 한다는 필요성에 따라서 여러회사의 난립보다는 經驗과 人力을 單一會社에 집중적으로 支援토록 하는 정부방침이 1976년 11월 18일에 결정되었으며 그 이듬해 4월 18일에 개최된 관계차관회의에서 원자력발전소의 건설, 설계용역 분야에 외국회사는 국내용역회사와 共同參與하여 技術傳授를 할 것과 국내회사로는 KNE를 통해 단일회사로 전문화한다는 방침을 확정시켰고 KNE의 급속한 성장과 능력이 인정됨에 따라 1978년 6월 11일 정부에서는 80년대에 착공되는 원자력발전소는 국내용역회사(KNE)가 주계약자가 되어 수행하도록 하였다.

以上과 같은 育成方針아래 KNE는 1976년 2월 28일에 프랜트 엔지니어링에 대한 사업허가 및 등록을 완료하였으며

- ① 妥當性조사
- ② 계획의 基本設計
- ③ 詳細設計및 엔지니어링
- ④ 기자재 구매
- ⑤ 건설관리
- ⑥ 품질보증관리
- ⑦ 발전소 試驗및 試運轉
- ⑧ 故障排除및 補修유지관리
- ⑨ 종사자의 技術訓練
- ⑩ 기타 附帶事業

에 적극참여하여 괄목할만한 성장을 보여왔다. 80년도의 會社保有人力은 76년도를 기준할 때 7.4배, 用役受注額은 물가상승율을 고려하여도 54.25배의 급속한 증가를 보였다.

4.2. A/E 遂行能力的 評價와 技術傳受 계획

A/E 수행능력을 향상시켜 국내 기술인력에 의한 A/E수행을 위해서는 먼저 현재의 우리능력을 분명히 파악하고 앞으로의 계획을 수립하여

야 한다.

현재의 A/E 수행능력은 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다.

$$C = \frac{\sum_{i,j} R_i w_j f_j}{\sum_{i,j} R_i w_j} (\%)$$

여기에서 C는 A/E 수행능력을 %단위로 표시한 숫자이며 R_i 는 A/E 수행에 필요한 주요소(人力, 設備, 資料, 경영및 기술능력등)의 加重値이며 w_j 는 주요소에 대한 副要素 즉, 직급별 人力, 설비의 종류별, 자료의 종류별, 분야별 기술능력등의 주요소에 대한 가중치이며 f_j 는 주요소에 대한 현재의 능력수준을 %로 표시한 것이다.

표 4.1은 현재의 A/E능력을 개략적으로 표시한 例이다.

현재와 미래의 기술능력평가는 원자력건설사업에 필요한 모든 활동들을 나열하고 그 수행능력을 분석하여 人力, 설비, 자료, 경영등으로 판단하면 비교적 정확한 데이터를 얻을 수 있어 평가에 도움이 된다.

기술전수계획은 현재의 수행능력을 위와 같은 공식을 이용하여 정확히 평가하고 부족한 부문과 현실적으로 가능한 부문에 대해 집중적인 기술전수방법을 계획함이 바람직하다.

기술전수는 역시 수행능력평가와 비슷하게 축적및 전수요소로서

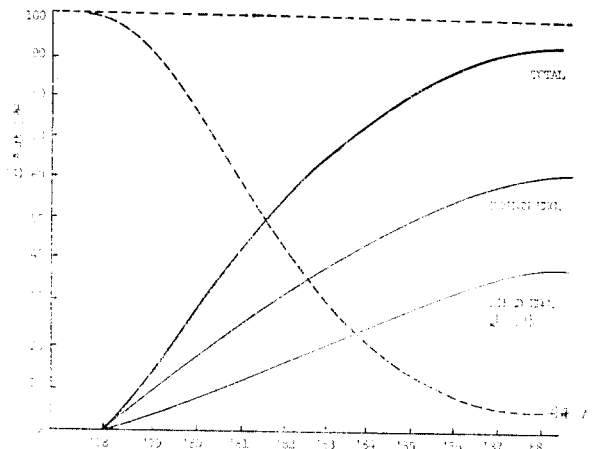


그림 4.1 연도별 설계기술 국산화 참여비율 추이

표 4.1 A/E 수 행 능 력(예)

요 소	가중치 R_i	부 요 소	가중치 U_j	f_j	
				'80년도 능력(%)	'81년도 예상능력(%)
인 력	0.3	사 업 경 영 자	0.3	10	30
		고 급 기 술	0.3	40	50
		중 급 기 술	0.2	70	75
		초 급 기 술	0.1	80	85
		기 능	0.1	80	85
설 비	0.2	행 정 설 비	0.4	60	65
		기 술 보 조 설 비	0.6	40	50
자 료	0.2	기 술 자 료	0.7	40	60
		행 정 자 료	0.3	80	85
사업추진 및 경 영능력	0.3	본사 Engineers	0.3	10	30
		현장 Engineers	0.3	60	75
		Construction Coordination	0.3	60	75
		응 역 행 정	0.1	50	70
C	'80년도=46.7%		'81년도=59.8%		

- ① 개인능력의 향상
- ② 유형의 자료 및 설비완비
- ③ 무형의 자료(Know-how) 전수
- ④ 사업의 조직운영방법

등으로 구분하고 이 요소에 필요한 기술 및 자료를 열거한 후 축적 및 傳受方案, 이에 관한 평가와 수정을 거쳐 확인하도록 조치한다. 그림 4.1은 韓國原子力技術(株)의 A/E 주도화계획에 따른 국내기술전수 및 능력의 계획치를 보여주고 있다.

5. 맺음말

原子力發電所의 건설은 賦存에너지源이 한정되어 있는 韓國의 현실에서 불 대 당연히 필요하다 할 것이다. 原子力發電所 建設의 특징은 높은 建設費와 長期間의 건설기간으로 설명될 수 있는데 이러한 건설사업을 순조롭게 운영관리하고 고도의 기술과 지식을 활용하여 원자력발전소의 안전성을 확보하기 위해서는 필수적으로 전문용역업체인 A/E회사의 事業運營과 설계엔지

니어링에 적극개입하도록 하여야 한다.

A/E회사는 사업의 운영관리에서부터 시작하여 설계 및 엔지니어링과 구매관리등 全分野에 걸쳐 전문기술자들을 동원하여 電力會社의 요구에 상응하게 일을 처리할 뿐 아니라 발전소 所有主인 電力會社에 妥當性과 價値性을 평가하여 줌으로써 적절한 사업계획과 목표관리를 수행하도록 돕는다.

특히 原子力發電所 설계 및 엔지니어링은 광범위한 기술분야가 합쳐서 이루어지는 結晶體로써 機械, 電氣, 土木, 建築, 核工學등의 관련기술자들이 事業責任者(P.M)와 技術責任者(P.E)의 통솔하에 일관성있게 일을 수행해 나간다.

本 解説에서는 이러한 A/E의 복잡하고 다양한 설계 및 엔지니어링의 내용을 詳述하였으며 현재 원자력발전소 A/E회사로서 유일하게 認可받은 韓國原子力技術(株)의 현황과 기술축적계획을 밝힘으로써 A/E회사의 기능과 역할을 알리고 이러한 기술업무의 早速한 국산화를 위해 傾注되고 있는 노력들을 斷片的으로 紹介하였다.