

《해설》 原子力發電所の建設 및 機資材의 國産化計劃 (1)

李 昌 健 · 白 仁 杰

韓國 原子力研究所

(접수: 1977. 1. 10)

I. 序 論

現在 우리나라는 古里 1號機를 先頭로 1986년까지 5機의 原子力發電所를 建設할 計劃을 수립하고 있다. 原子力發電所의 建設事業은 막대한 資本을 필요로 하며 高度의 技術 및 풍부한 經驗을 필수적으로 수반해야 하나 國內의 기반으로는 이의 獨自的인 推進이 불가능하므로 현재까지는 turnkey 方式으로 建設하여 왔다.

그런데 經濟開發計劃과 함께 國內 重化學 및 重機械 工業에 대한 政府의 積極적인 支換에 의해 機械, 鐵鍋, 化學 및 非鐵金屬 등의 資本材工業도 어느 정도까지는 發展되었다. 따라서 國內에 建設되는 각 plant의 機資材에 國産品 轉用이 가능케 된 것이다.

그러므로 여기서는 原子力發電所 建設에 必要한 機資材 및 用役과 人力中 國內에서의 轉用이 가능한 部分을 選別檢討하여 新規 原子力産業에 대한 方向을 제시해 보고자 하며, 또한 原子力發電所 建設上的 最適 國産化率을 決定하는 方法과 國産化를 推進하는 方向에 대해서 論하고자 한다.

II. 國産化計劃의 推進方法

먼저 國産化에 의한 파급효과를 보면
첫째, 國外로 流出될 막대한 外貨를 억제할 수 있으며
둘째, 國內 人力의 雇用增大를 도모하게 되고,
셋째, 새로운 技術과 經驗을 얻는 契機가 되며,
넷째, 原子爐 稼動時 運轉과 補修를 도울 수 있으며,
나아가서는

다섯째, 原子力發電所의 設計技術과 機資材의 輸出까지도 도모케 될 것이다.

1. 國産化에 影響을 미치는 因子

가. 經濟的 및 財政的 因子

일반적으로 外國의 發電所 供給者가 國産化를 기피한다고 생각하는 경향이 있는데 이것은 올바른 觀察이 아니다. 왜냐하면 發電所 供給者는 發電所의 建設費를 極少化하려고 노력하게 마련인데 이것은 勞動力과 機資材의 國産化를 통해서 가장 쉽고 빠르게 성취할 수 있기 때문이다. 이런 需要에 부응키 위해 國産化는 自然發生的으로 그러면서도 천천히 이루어지기 마련이다. 따라서 國産化를 效率的으로 加速시키기 위해서는, 電力會社와 政府는 우선적으로 國內의 技術, 用役, 資材 및 機器製作 能力에 대한 精確한 評價作業을 先行해야 한다. 이러한 評價를 바탕으로 政府는 最適國産化額을 정해야 할 것인데, 政府立場에서는 貿易收支의 黑字幅을 增大시키기 위해서도 plant 建設에서의 輸入部分을 가급적이면 줄여 外貨流出을 抑制해야 할 것이다. 이런 最適國産化額은 다음과 같은 數式으로 표현할 수 있다.

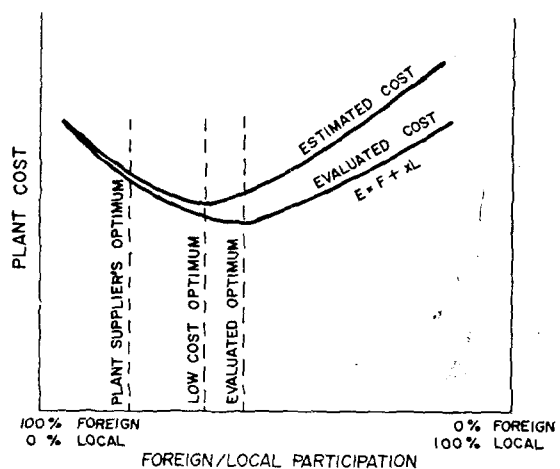


Fig. 1. Various Optimum Levels of Local Participation

$$E = F + xL$$

단 E : 建設費

F : 建設費中の 輸入額

x : 經濟因子

L : 建設費中の 國產化額

여기서의 經濟因子 x 는 國家의 國際收支상태, 外資와 內資의 利率, 失業率과 原子力發電所의 建設 豫定 機數에 의해서 결정된다. 위 式의 例로서 最適國產化額을 나타내는 도표를 Fig. 1에 그려 보았다. 이 그림에서의 經濟因子 x 는 1보다 적은 경우로서 最適國產化率은 매우 높다. 그러나 內資의 利率이 外資의 利率보다 높은 경우, x 는 1보다 커져서 最適國產化額은 매우 낮아진다. 또한 이 그림에서 estimated cost는 위에서 記述한 經濟因子를 고려하지 않은 國產化의 변화에 따른 建設費의 推定이다. 國產化率을 높이기 위해서는 國內資源에 대한 최초의 評價를 바탕으로 지속적인 資源開發計劃을 수립하여야 할 것이며 建設當時의 제반 조건에 따라 國產化率을 정해야 할 것이다.

나. 政策的 및 社會的 因子

일반적으로 原子力發電事業에 대한 國家政策이 國產化에 미치는 影響은 매우 크다. 즉 政府에서 國產化率을 制定하는 것은 經濟的인 打算爲主로 정하는 業界推定의 國產化率보다는 훨씬 높게 정하여지기 마련인데 비록 政府의 國產化 策定率이 기대 이상으로 높아 初期에는 다소 무리가 있더라도 이를 슬기롭게 추진하여 定着화시키는데 成功하게 되면 결국은 國產化計劃을 促進시키는 結果가 招來될 것이다. 國內業界의 機器製作과 供給能力 및 施設現況은 그나라에서 建設할 爐型選擇에도 重大한 影響을 미친다는 것을 看過해서는 안될 것이다.

社會的인 側面에서는 業界의 原子力發電所 建設에 대한 認識度에 따라 國產化率이 變化될 것이다. 한편 業界에서는 雇用, 새로운 技術習得 및 經驗과 教育에 대한 기대와 새로이 등장하는 商品市場 즉 原子力發電所 機資材供給을 통한 利潤取得에 매력을 느껴 國產化에 參與케 되는 수도 있을 것이다. 이러한 여러가지 要素들을 감안하여 政府는 國產化率을 決定하는 것이 바람직하다.

2. 推進方法

가. 國內資源의 評價

電力會社와 政府當局者는 原子力發電所 建設 機資材에 대한 知識과 經驗을 갖고 있는 專門家들의 支援를 받아 相互協同하에 다음과 같은 방식에 의거하여 國內

資源에 대한 올바른 評價를 해야 한다.

① 現在 資源保存水準으로 發電所 建設에의 國產化가 얼마나 이루어질 수 있을 것인가를 우선 결정하고,

② 國內 資源에 대한 開發과 人力教育으로 얼마나 더 國產化率을 높일 수 있는 가를 推定하고,

③ 長期的 限目에서 國產化 有望部分과 國產化率을 擴大하고 높이는 데 有利한 長期計劃을 樹立해야 한다.

國產化 評價는 다음과 같은 段階를 거쳐 이루어져야 할 것이다.

① 國產化 推進主體는 原子力發電所 建設에 必要한 裝備, 機資材, 用役 및 人力의 目錄을 作成하여 電力會社와 政府의 檢討를 받도록 한다.

② 機資材, 用役, 人力을 提供할 수 있는 國內會社와 企業體를 選別한다.

③ 이렇게 選定한 會社와 企業體에 대해서는 原子力發電所 建設의 特異性에 관한 教育과 相互情報交換으로 國產化가 可能하도록 國內資源을 發掘하고,

④ 이런 情報交換을 통해 原子力發電所 建設에 대한 각 會社, 企業體의 能力을 파악토록 한다.

⑤ 이에 따라 細部品目別로 關聯會社를 망라한 小委員會를 構成하고 이 위원회로 하여금 品目별 requirement에 대한 國內製作 可能與否를 決定짓게 한다.

예를 들면 國產化 推進主體는 製作會社의 施設, 品質保證實態, 과거의 製作 및 納品實績, 未來의 擴張計劃, 技術陣의 現況을 綜合的으로 진단하며 製作會社로부터 specification과 drawing을 提供받아 國產化 可能與否를 단시일내에 결정한다. 이러한 방식의 診斷作業은 비단 機資材製作分野 뿐만이 아니라 資材供給源, 用役會社 및 人力供給源에도 적용시켜야 할 것이다.

이러한 短期的인 檢討를 바탕으로 장차의 國產化를 增進시키기 위한 教育및 開發計劃을 樹立해야 한다.

나. 國產化의 形態

(1) 機器

國產機器를 선정함에 있어 外製品과의 價格비교에 너무 신경을 쓰면 國產化추진은 벽에 부딪칠 경우가 있을 것이다. 기존 施設을 가지고 製作possible한 機器에 대한 評價도 어렵지만 대부분의 機器製作에는 生産施設의 擴張 및 工程의 改善이 요구되므로 精確한 評價作業은 더욱 어려운 일이다. 그러므로 國產化작업에 참여하는 사람은 nuclear grade에 대한 教育推進計劃과 國內外에서의 價格 및 市場趨勢에 대해서 누구보다도 예리한 洞察力을 가지고 있어야 한다.

1972년부터 시작된 Portugal의 Junta de Energia

Nuclear of Portugal 이 Burns and Roe, Inc. 와의 契約으로 수행한 輕水型 原子力發電所의 機器에 대한 國產化 推進狀況을 단계별로 검토한 보고서를 살펴보면 다음과 같다.

① 原子力發電所에 소요되는 機資材의 概略的인 目錄을 作成한다.

② 機器製作者들에게 推定價格을 提示한다.

③ 主要한 system 이나 component 에 대한 자세한 specification 을 作成한다. 이 specification 에는 design criteria, operating performance, manufacturing requirements, quality assurance, extent of supply 가 明示된다. 이밖에 schematic diagram 과 system 動作에 대한 간단한 說明이 첨가되어 있다.

④ 각 製作者에게 다음과 같은 내용의 質疑書를 發付한다. 즉 生産施設現況, 生産能力, 製作및 納品實績 그리고 納品된 製品의 性能에 대한 評價, Q. A. 現況, 技術陣의 能力, 原子力教育에 대한 參與意向 등이 그 내용이다.

⑤ 이 質疑書의 答辯과 製作者들에 관한 情報를 바탕으로 國產化計劃에 참여할 製作者를 選定한다.

⑥ 選定된 製作者에게 機器에 대한 資料를 자세히 檢討케 한다.

⑦ 製作者의 施設과 工程을 檢査한다. 아울러 Q. C. (品質管理)를 강조한다. 특히 安全關聯機器에 대한 Q. A., Q. C. 條件을 明示하도록 한다. 또한 size & weight limitation, range of materials, 清潔度, codes 와 standards 의 適用 등을 施設, 工程檢査와 동시에 調査한다.

⑧ 이런 基礎調査가 완료되면 國內 製作者들은 外國 製作所와 建設中인 原子力發電所를 방문하여 現地 踏査토록 한다.

⑨ 위의 모든 段階들은 國產化를 增進시키기 위한 國內 工業의 長期開發計劃書로 압축된다.

한편 대개의 경우 機器製作者의 生産 經濟性을 고려하지 않을 때에는 國產化가 過多하게 策定될 우려가 있으므로 이미 국제적으로 形成되어 있는 市場性과 原子力發電 長期計劃을 염두에 두고 作業을 해야 할것이다. 따라서 製作者는 政府에서 提供하는 資料에 의거하여 施設投資와 製作을 決定해야 한다.

(2) 建設資材

土木工事は 發電所 建設費에서 큰 比重(15~20%)을 차지하고 있으며 또한 가장 國產化하기가 쉬운 分野이다. 資材價格은 供給源의 位置에 따라 크게 영향을 받

는다. 그러므로 發電所 建設時의 資材供給源에 대한 精確한 사항판단과 이에 대한 적절한 對備策을 제대로 講究하면 建設費를 낮출 수도 있다. 즉 外製 構造用 型鋼 대신 concrete 構造物을 사용하면 國內 資源의 이용을 極大化시킬 수도 있는데 이렇게 하려면 輸入을 감소시키는 방향으로 設計時부터 이런 事項을 反映해야 할 것이다.

(3) 建設人力 및 管理와 運轉

美國의 경우 600 MWe 發電所를 建設할 때 대개 12~15 man-hours/KWe 의 人力이 필요한데, 1,100MWe 2 機를 동시에 建設하면 그것이 10 man-hours/KWe 으로 감소한다. 또한 尖頭人力需要는 각각 1,000名과 2,000 名에 달한다. 그러나 우리나라의 경우는 대략 이의 2배 가 될 것으로 推定된다. 실제로 古里 1號機 建設에 投入된 建設人員은 1976年 8月까지 약 150萬 man-days 이었는데 앞으로 500日間 1日 平均 1,000名을 참작하면 古里의 준공에는 약 200萬 man-days 가 所要될 것으로 推定된다. 이것은 美國에서의 所要人力의 2倍 이상 投入됨을 보여주고 있는데 이렇게 많은 人力이 投入될 수 있는 것은 人件費가 美國의 5~10%에 불과하기 때문이다(古里 1號機의 人力投入은 1日 作業時間을 10時間으로 할 경우 약 30 man-hours/KWe 로 算出됨).

結論의으로 사정이 許容하는 한 國內 人力을 最大限으로 이용하는 것이 바람직하다. 表 1은 600 MWe 의 原子力發電所 建設에 必要한 各 業務別, 職能別로 계산한 美國의 전형적인 所要人力을 나타낸 圖表이다. 表 2는 Kaiser 報告書에서 推定한 國內 人力의 生産性(productivity)의 변화를 고려해서 CONCEPT-IV computer code 로 계산한 한국의 所要人力 圖表이다.

세계적인 原子力發電所 建設 추세로 보아 良質의 人力을 확보하기가 어려우므로 建設管理의 便宜와 경비절약을 위하여 發電所 供給者는 國內 人力의 參與를 원하게 된다. 이러한 人力을 확보하기 위해서는 早期에 國內 人力이 建設機構에서 담당할 위치와 役割을 설정해야 한다. 典型的인 建設管理 機構表는 表2와 같다. 물론 이들 國內 建設管理 人力을 投入하기 위해서는 소정의 教育訓練을 이수시킨다는 前提條件을 必要로 한다. 이들은 發電所 供給者와 함께 建設管理를 有機的으로 수행하고, 동시에 앞으로 發電所運轉과 補修를 담당할 能力培養의 계기를 마련케 된다. 적절한 教育을 되풀이하고 이를 實務面에서의 經驗을 통하여 實證하게 되면 당장의 原子力發電所 建設管理의 質을 向上시킬 뿐 만이 아니라 巨視的이고 長期的으로는 機資材와 技術의 海

表 1. Typical Construction Labor Man-Hours in U. S. A. (600 MWe Nuclear Power Project*)

Task/Trade	Supervisor	Operating Engineer	Labor	Carpenter	Electrician	Pipe-fitter	Iron-worker	Other's	Total
Excavation	3,600	179,200	27,700	45,200	100	—	—	700	256,500
Substructure	182,100	160,300	579,300	327,800	14,600	65,600	236,000	89,900	1,673,510
Superstructure	276,800	153,000	687,700	477,900	21,900	62,700	298,700	260,400	2,239,200
Mech. Instal. & Piping	247,800	104,900	222,900	49,500	10,200	1,331,200	29,100	158,500	2,134,100
Electrical (Plant Power)	163,200	16,000	52,500	30,600	947,000	—	12,400	17,500	1,239,200
T-G Erection	20,400	10,200	10,200	1,000	—	48,100	29,100	95,100	214,100
Insulation	17,500	—	—	—	—	—	—	128,200	145,700
Misc. Civil Work	28,800	83,300	35,800	6,600	400	20,000	23,300	129,900	328,100
Instrumentation	34,000	11,700	9,300	1,200	80,100	45,200	9,800	73,100	264,400
Switch Yard & Trans.	16,600	13,500	9,900	10,300	51,000	—	7,000	25,900	134,200
HVAC	14,600	—	2,200	—	—	1,500	—	72,900	91,200
Others	9,500	4,500	10,300	400	7,000	38,200	2,500	29,900	102,200
Change Orders	23,300	33,500	66,300	900	8,700	8,700	8,200	28,400	178,000
Totals	1,038,000	769,900	1,732,100	950,900	1,141,000	1,601,100	656,000	1,110,400	9,000,000

* 1KWe 當 15 man-hours의 人力이 必要한 것으로 假定함

表 2. Typical Construction Labor Man-Hours * in Korea (650 MW Nuclear Power Project)

Task/Trade	Supervisor	Operating Engineer	Labor	Carpenter	Electrician	Pipe-fitter	Iron-worker	Others	Total
Excavation	4,600	225,200	34,800	56,700	200	—	—	800	322,300
Substructure	228,800	201,400	750,600	411,900	18,300	82,400	296,600	113,000	2,103,000
Superstructure	347,800	192,200	864,100	600,500	27,500	78,700	375,300	327,100	2,813,200
Mech. Instal. & Piping.	311,200	131,800	280,100	62,300	12,800	1,647,600	36,600	199,200	2,681,600
Electrical(Plant Power)	205,000	20,200	65,900	38,400	1,189,900	—	15,600	22,000	1,557,000
T-G Erection	25,600	12,800	12,800	1,300	—	60,400	36,600	119,500	269,000
Insulation	22,000	—	—	—	—	—	—	161,100	183,100
Misc. Civil Work	36,300	104,700	45,000	8,200	550	25,200	29,300	163,300	412,550
Instrumentation	42,700	14,600	14,100	1,500	100,700	56,700	12,300	91,900	332,100
Switch Yard & Trans.	20,900	17,000	12,500	13,000	64,100	—	8,800	32,600	168,900
HVAC	18,300	—	2,700	—	—	1,800	—	91,500	114,300
Others	11,900	5,500	13,000	550	8,800	48,000	3,100	37,500	128,350
Change Orders	29,300	42,100	83,300	1,100	11,000	11,000	10,300	35,700	223,800
Total	1,304,400	967,500	2,176,500	1,195,450	1,433,850	2,011,800	824,500	1,395,200	11,309,000

* Kaiser Engineers Report(1974)에서 假定한 國內入力の productivity로서 CONCEPT-Ⅱ Code에 의해 계산된 國內入力 所要量

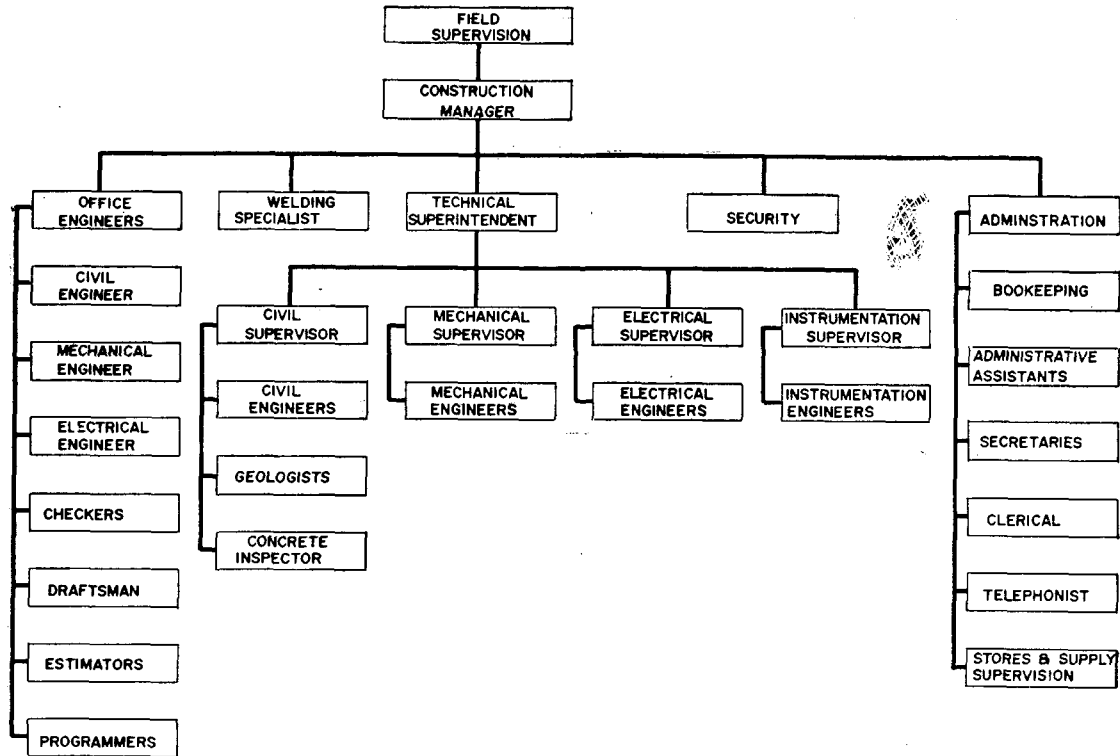


Fig. 2. Typical Construction Management Organization

外依存度を 줄이는 효과도 거두게 된다.

發電所의 運轉을 指揮할 所長 (plant superintendant) 과 副所長 (assistant plant superintendant) 은 原子爐의 核燃料 初期 裝填時 보다 적어도 2年前에 임명하여 事전에 제반 업무에 대비토록 하는 것이 원칙이다. 典型的인 發電所 運轉과 管理要員 構成은 表3과 같다. Plant Superintendant, Assistant Plant Superintendant, Supervisor of Operations, Shift Supervisor, Results Engineer 와 Nuclear Engineer 들은 반드시 先任 原子爐 運轉 免許證 (Senior Reactor Operator's Licence) 을 갖고 있어야 한다. 또한 Control Room Operator 와 Assisnant Control Room Operator 는 原子爐 運轉 免許證 (Reactor Operator's Licence) 을 획득해야 한다.

A. E. Service

(4) 用 役

發電所는 設計를 委託하는 方法에 따라 engineering design 과 drafting service 의 國産化率의 多寡가 決定되는 경향이 있다. Mexico 의 예를 보면 Comision Federal de Electricidad 의 Laguna Verde 原子力發電所의 建設計劃에서 일반적인 architect engineering 은

Mexico 의 Bufete Industrial 이 Burns and Roe, Inc. 와 合作으로 담당하였다. 즉 Burns and Roe, Inc. 에서는 약간의 要員으로 技術監督과 指導단을 책임졌고 Bufete Industrial 에서 대부분의 design 과 drafting 을 담당하였다.

表 4는 nuclear island 부분만의 architect engineering service 에 必要한 國內외의 所要人力을 細分한 것이다. 대략 70%는 國內人力으로 충당할 수 있으며 10%는 合作 A. E. 會社에 勤務하는 外國人 要員이 나머지 20%는 合作 A. E. 會社의 外國側 本社 人力으로 메꾸는 것이 通例이다.

敷地調査

原子力發電所의 設計와 建設前에 安全性, 環境, 設計에 必要한 敷地調査 研究가 先行되어야 한다. 즉 氣象學, 水文學, 地質學, 地震學, 周邊人口分布, 生物이 飲食物에 연쇄적으로 攝取되는 經路와 敷地評價등에 관한 대부분의 資料는 國內 機關이 蒐集할 수 있다. 例로 泰國의 Electricity Generating Authority (EGAT) 의 Ao Phai Nuclear Project 의 敷地調査에서 泰國機

表 3. Typical Nuclear Power Plant Operating and Maintenance Staff

SUPERVISORY		No.		
Plant Superintendent		1		
Assistant Plant Superintendent		1		
Secretary		2		
Typist		4		
OPERATING	No.	MAINTENANCE	No.	
Supervisor of Operation	1	Maintenance Supervisor	1	
Shift Supervisor	5	Mechanical Maintenance Foreman	1	
Control Room Operator	10	Instrument Foreman	1	
Assistant Control Room Operator	5	Electronic Foreman	1	
Turbine operator	10	Mechanic	10	
Auxiliary Equipment Operator	5	Mechanic's Helper	10	
Relief operator	5	Welder	6	
Results Engineer	1	Machinist	6	
Engineer in Training	3	Electrician	3	
Nuclear Engineer	1	Electrician's Helper	6	
Health Physicist	1	Instrument Mechanic	4	
Chemical Supervisor	1	Laborer	8	
Chemist	4	Janitor	6	
Clerk	3	Guard	6	
Storekeeper	3			

表 4. Typical Engineering & Design Manhours-Nuclear Island

Category	Local A/E	Foreign A/E Local office	Foreign A/E Home office	Total A/E
Project Direction & Management	18,000	9,000	15,000	42,000
Planning & Estimating	14,500	3,000	4,000	21,500
Engineering Supervision	2,000	30,000	8,000	40,000
Mechanical Engineers	15,000	2,000	2,500	19,500
Electrical Engineers	12,000	—	6,000	18,000
Civil/Structural Engineers	76,000	—	10,000	86,000
Nuclear Engineers	21,000	4,000	7,000	32,000
Instrumentation Engineers	14,000	6,000	2,000	22,000
Other Engineers	23,500	2,000	6,500	32,000
Draftmen & Designers ¹	157,000	—	29,000	186,000
Administrative, Contracts and Clerical	61,500	—	23,500	85,000
Totals	414,500	56,000	113,500	584,000

關은 地質調查, 空中寫眞調查, 敷地掘探調查, 周邊人口
分布, 水文學的 研究, 氣象研究를 實施하였다. 또한 泰
國人 consultant는 敷地海岸 1 km 內的 海中生物의 生

態學調査를 施行하였다. 이것은 古里 敷地 選定에서와
거의 같은 方法이었고 또한 우리나라 原子力 二號機와
三號機 敷地選定을 위한 事前調査時와도 같은 원칙에 立

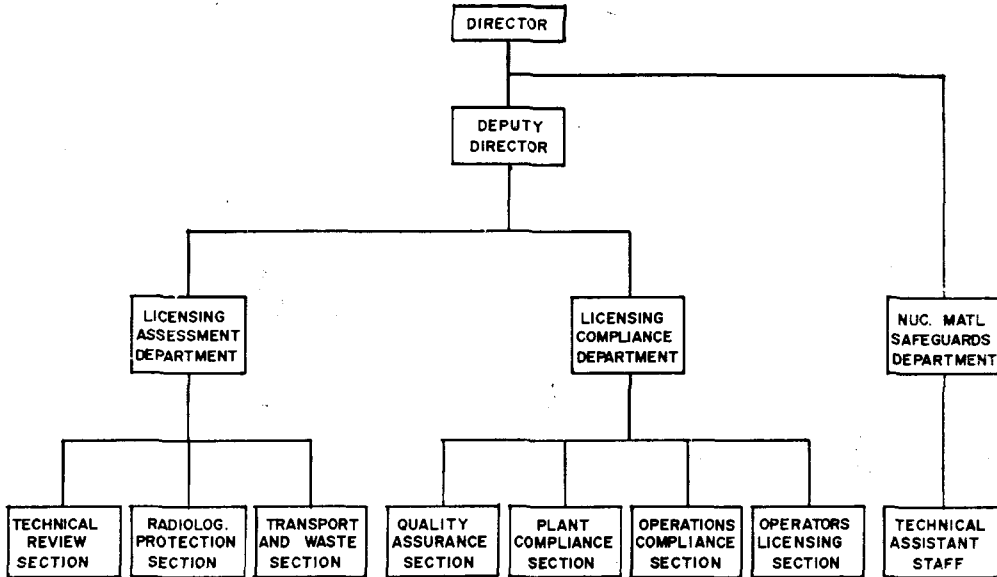


Fig. 3. Possible Structure of a Nuclear Licensing Group

脚한 추진方式이다.

認許可 申請書

法에 明文化되어 있지는 않으나 우리나라에서는 美國의 慣例에 따라 原子力發電所의 建設과 관련된 認許可를 얻기 위하여 Preliminary Safety Analysis Report(PSAR)와 Final Safety Analysis Report (FSAR)와 같은 形態의 報告書를 提出하도록 되어 있다. 이 報告書에 必要한 資料는 發電所 供給者, 電力會社와 國內 consultant 들이 마련하는것이 보통이다. 그러나 電力會社側에서 이 認許可 報告書를 作成하는 것이 가장 바람직하다.

運轉 및 管理敎範

만일 運轉要員 自身이 運轉 및 管理敎範을 作成하면 發電所를 安全하고 效率的으로 運轉하는데 必要한 親熟度를 增大시킨다는 點에서 이것은 아주 바람직한 일이다. 이 敎範은 機器나 system을 設置後 作動試驗을 하기전 까지 作成해야 하는 것이 필수적이다.

(5) 安全性 分析 및 認可設

國內에는 原子力發電所의 認許可와 安全性 分析을 담당할 機構를 組織해야 한다. 이 機構는 原子力發電所를 처음 建設하기 以前, 즉 敷地調査를 實施하기 전에 機構의 組織과 要員의 訓練 教育을 담당하여야 한다. 이 機構에서는 發電所機器 供給會社들로 하여금 發電所의 細部設計와 價格을 定할 수 있는 基準을 마련해야 한다. 만일 design standard와 敷地選定의 安全基準을 세우지 못한 경우에는 建設途中에 일어날지도 모르는 設計變更으로 말미암아 建設費가 增加하고 建設工事が 지연될 수도 있다. 그러나 原子力發電所를 처음 建設하는 경우에는 安全性分析등에 必要한 專門要員을 갖추기는 不可能하다. 그러므로 必要한 要員을 外國의 認許可 담당기관에 파견하여 訓練시키거나 아니면 外國 consultant를 고용하여 自體 訓練計劃을 樹立하던가 해야 한다.

그렇지 않으면 先進國의 認許可規定을 參考하여 이것을 自國의 實情에 알맞게 수정하든지, 發電所 供給國의 規定을 따르는 것도 한 方法이다. 典型的인 認許可業務와 安全性分析을 담당할 機構의 構成을 위해서는 그림 3에서와 같이 20~30名の 要員을 확보해야 할 것이다.