

《해설》

스페인 原子力事業 推進 現況

金 東 勳

韓國原子力研究所
(접수 : 1977. 12. 16)

1. 序 言

本 報告는 筆者가 1977. 6. 15~25(11日間)에 걸쳐 스페인의 原子力發電 및 原子力技術開發에 關聯되는 機關을 視察하는 동안 收集한 資料와 關係者와의 對談을 통하여 얻은 情報를 綜合하여 記述한 것이다. 訪問한 機關은

- Junta de Energia Nuclear(스페인 原子力委員會)
- Centro Nacional Energy Nuclear(스페인 原子力 研究所)
- Empresa Nacional del Uranio. S.A(ENUSA)
- Empresa Nacional de Ingenieria by Tecnologia (INITEC)
- Equipos Nucleares, S.A(ENSA)
- Tecnatom, S.A

등 6個機關이며 이들 機關의 活動現況概要는 各 該當分野의 現況을 記述할 때 틈틈이 言及하고자 한다. 本 報告의 記述內容은

- 原子力發展推進現況
- 核燃料需給現況
- 原子力發電所의 國產化現況
- 原子力發電所 運轉要員의 訓練現況

등이다. 本 報告內容은 “스페인 原子力事業推進現況 視察報告書”(朱載陽, 金東勳)에서 발췌 引用하였으며 原子力技術開發現況에 대한 것은 省略하고자 한다.

2. 原子力發電 推進現況

스페인의 人口는 우리 나라와 비슷한 約 3,500萬名이며 76年의 經濟統計에 의하면 GNP는 1人當 2500弗이며 年間 經濟成長率은 平均 약 8%이다.

에너지需要增加率은 年平均 6.4~13%(1960~1973)이며 輸入에너지(主로 石油)에의 依存率은 每年 增加하여 1975年 現在 約 70%에 이르고 있다. 스페인의 造船工

業은 世界的으로 잘 알려진 스페인의 主要産業이나 73年末 以來의 石油波動에 의하여 至大한 타격을 받았으며(石油波動前 年 14億弗의 輸出) 더욱이 石油價의 상승으로 심한 經濟的 沈滯를 겪었다고 한다.

參考로 1960~1973年 동안의 스페인의 主要에너지 消費現況을 살펴 보면 表 2-1과 같다. 이 表에서 보는 바와 같이 1960~1973年 사이의 13年동안 石炭과 水力은 增加하지 않고 石油의 消費는 6倍 以上 增加하고 있음을 알 수 있다.

電力은 全體 에너지의 35%를 占有하고 있으며 1975年 現在 發電施設의 容量은 約 2500萬KWe(1976年末 現在 約 3000萬KWe)이며 그 중 水力이 1200萬KWe로서 全體 施設容量의 47%를 차지하고 있으나 實際發電量에 있어서는 32%를 차지하고 있다. 表 2-2은 1975年 現在의 스페인의 發電施設과 發電現況을 나타낸 것이다.

스페인에는 私企業體인 여러 電力會社가 있으며 地域的으로 分割하여 電力供給을 擔當하고 있다. 電力會社間의 企業活動을 調整하고 適切히 統制하기 위하여 電力會社들로 構成된 統合會社(Unidad Electrica SA, UNESA)를 設立하여 이 UNESA가 스페인에서의 發電送配電事業을 代表하고 있다. 스페인工業省(Ministerio

表 2-1. 스페인의 主要 에너지 消費現況
Unit: tec(ton equivalent coal)

Source	1960		1965		1970		1973	
	10 ⁶ tec	%	10 ⁶ tec	%	10 ⁶ tec	%	10 ⁶ tec	%
Coal	14.3	46.6	14.7	35.4	14.1	21.9	14.5	17.1
Petroleum	8.8	28.8	18.9	45.3	39.8	61.8	56.4	66.9
Natural Gas	—	—	—	—	0.2	0.4	1.2	1.7
Hydro	7.5	24.6	8.0	19.3	10.0	15.5	10.0	12
Nuclear	—	—	—	—	0.2	0.4	2.2	2.6
Total	30.6	100	41.6	100	64.5	100	84.3	100

表 2-2. 스페인의 發電施設容量 및 發電現況
(1975年 現在)

Type of Energy	Installed Capacity		Energy Produced	
	MWe	%	10 ⁹ KWh	%
Coal	4,600	18.1	21.6	26.2
Petroleum	7,700	30.3	26.8	32.5
Hydro	12,000	47.3	26.4	32.1
Nuclear	1,100	4.3	7.5	9.2
Total	25,400	100.0	82.3	100.0

表 2-3. 스페인의 發電計劃
(1985년까지)

Type of Energy Source	1975		1980		1985	
	10 ⁹ KWh	%	10 ⁹ KWh	%	10 ⁹ KWh	%
Coal	16.0	18.8	37.0	28.2	36.0	17.9
Petroleum	33.0	38.3	19.0	14.5	12.0	6.0
Hydro	30.0	35.8	36.0	27.5	45.0	22.4
Nuclear	6.0	7.1	39.0	29.8	108.0	53.7
Total	85.0	100.0	131.0	100.0	201.0	100.0

*"National Electricity Supply Programme" revised in 1975.

De Industria)는 10年間の 國家的인 中長期電力需給對策을 效果的으로 推進하기 위하여 "Plan Energetice

Nacional"를 樹立하여 每 2年마다 修正하도록 하고 있다. 1975년에 修正된 計劃을 보면 表 2-3에서 보는 바와 같이 1985년까지는 原子力發電이 全發電量에서 차지하는 比重이 約 54%가 되도록 할 豫定으로 되어 있다. 이것을 施設容量으로 보면 約 36% 程度이며 1985년까지 20~25機의 原子力發電所를 建設完了될 것이 豫想된다.

그러나 1975년에 修正된 이 計劃은 現今의 世界的인 趨勢와 스페인의 經濟的 事情으로 보아 遲延된 展望에 있으며 石炭 및 水力 等の 國內資源의 最大限의 活用을 獎勵하는 政策을 취할 展望으로 있다. 그렇게 하더라도 電力의 不足이 豫想되고 있으므로 1985년까지 16~18機의 原子力發電所의 가동이 不可避할 것이라는 展望을 하고 있다.

스페인에서 現在 運轉되고 있는 原子力發電所現況을 보면 表 2-4와 같이 PWR, BWR 및 GCR 등 各기 다른 型의 發電所가 3機 運轉되고 있다. 또한 表 2-5에서 보는 바와 같이 1977年 現在 建設中인 것은 7機에 6,600 MWe 施設容量이며 豫備許可를 取得하여 建設着手豫定인 것이 8機에 約 8,000 MWe 이다. 그 외에 20機(約 20,000 MWe)에 대한 豫備許可 申請書가 接受되어 許可를 기다리고 있다.

이러한 原子力發電所의 建設은 "National Energy Plan"에 의한 計劃을 超過하는 것이나 計劃執行에 어느 程度의 融通性을 부여하기 위한 것으로 알려져 있다. 政府는 에너지種類에 대한 供給計劃만을 提示하고 電力

表 2-4. 運轉中인 原子力發電所

1977. 4. 30 現在

Name of plant	Location	Reactor Type	Electrical Power, MWe	Year of Operation	Energy Produced GWh
Jose Cabrera	Almonacid de Zoriza	PWR	160	68	8,000
Santa Maria de Garona	Santa Maria de Garona	BWR	460	70	15,000
Vandellos	Vandellos	GCR	480	72	15,000
Total			1,100		38,000

表 2-5. 스페인의 原子力發電所 建設現況

1977. 4. 現在

	No. of Units	Electrical Output, MWe	Year of Operation
In Operation	3	1,100	69-72
Under Construction	7	6,560	78-81
Preliminary Authorization	8	8,000	81-83
Applied for Preliminary Authorization	20	20,000	
Total	38	35,660	

表 3-1. 스페인의 우라늄 需要展望

Unit: Metric Tons U_3O_8

Year	Annual	Accumulated
1975	1,100	1,300
1980	3,500	12,300
1985	6,000	36,000

會社가 數地, 原子爐型, 容量 등을 決定하는데 매우 까다롭고 長時間의 研究調査를 要한다. 特히 스페인에서는 前述한 바와 같이 電力會社가 地域分擔으로 區分되어 있어 地質, 地震, 水理, 地政學的으로 適切한 敷地 選定에 많은 制約이 있으며(特히 南部地方은 地震帶에 屬해 있음) 敷地에 대한 許可節次인 preliminary authorization 段階에서 拒否되는 일이 많다고 한다.

原子爐型의 選定에 관해서는 一貫性있는 國家政策이 있는 것은 아니며 電力會社에 一任되고 있다고 한다. 그러나 着工豫定(preliminary authorization을 取得한)인 8機에서 2機만이 BWR 型이며 建設중인 7機 및 計劃중인 8機 중 6機는 PWR 型이므로 PWR 型이 原子力發電所의 主宗이 되고 있다. 스페인의 原子力發電所는 大概의 경우 雙機(Twin unit)로 建設되고 있으며 單機出力에 있어서는 建設중인 것이 930 MWe, 建設豫定인 것이 1,000 MW 級이다.

3. 核燃料需給現況

原子力發電計劃의 丹滑한 達成을 위해서는 核燃料周期供給의 確保가 무엇보다 重要하다고 強調하고 있다.

스페인 政府는 1972年 우라늄資源, 濃縮 및 再處理, 核燃料의 加工 등 核燃料周期の 供給을 專擔하는 "Empresa Nacional del Uranio"(ENUSA)를 設立하였으며 原子力發電에 必要한 核燃料周期の 供給을 獨占시킴과 同時에 이의 確保에 必要한 財政支援과 供給에 대한 義務를 주고 있다. ENUSA는 政府出資 60%, 民間電力會社의 出資 40%로 이루어지고 있다. ENUSA는 利潤을 추구하는 會社이며 國內 우라늄資源의 探査, 精鍊 및 再處理工程의 開發 등 外國技術導入이 어렵고 長期間所要되는 部門은 스페인 原子力委員會(Junta de Energia Nuclear, JEN) 산하의 原子力研究所(Centro Nacional de Energia Nuclear)가 擔當하고 있다.

ENUSA는

- Division of Exploration and Mining
- Division of Fuel Cycle
- Division of Planning and Procurement

表 3-2. 스페인의 우라늄 生産施設現況

Location	Annual Production Capacity, ton U_3O_8	Owner/Operator	Year of Operation
Andujar (South of Spain)	60-75	JEN	1959
Ciudad Rodrigo (Salamanca)	150	ENUSA	1969

등 3個主要部署로 되어 있으며 現在의 人員規模는 約 240名(그 중 約 100名은 國內 우라늄鑛山에 從事하고 있음)이다.

(1) 우라늄 需給現況

表 3-1은 스페인 原子力發電計劃에 따른 우라늄原鑛(U_3O_8)의 需要量을 表示한 것이다.

國內 우라늄 資源現況

스페인 國內 우라늄 資源의 探査 및 開發은 Junta de Energia Nuclear가 일직부터 힘을 기울이고 있는 事業이며 地質學的으로 有望視되고 있는 50萬km²의 地域中 10萬km²에 대한 探査를 完了하였다고 한다. 現在까지 確認된 우라늄 埋藏量은 \$30/lb 以下の 可採量이 5,000~10,000噸(Ciudad Rodrigo 및 Mazarete 地域), 300 ppm 程度의 低品位의 것이 約 40,000噸(Calab 地域) 發見되었다고 한다.

現在 스페인 國內 우라늄 生産量은 年間 約 200噸이며 生産施設現況을 보면 表 3-2와 같다. 2個의 生産施設中 ENUSA가 運營하고 있는 Ciudad Rodrigo 工場은 JEN 산하의 原子力研究所에서 開發한 技術에 의하여 建設된 것이며 1979년까지 年間 生産規模를 600噸으로 擴張할 計劃으로 있다고 한다.

海外 우라늄 確保活動現況

國內資源만으로는 原子力發電計劃에 따른 우라늄 需要를 充足할 수 없으므로 스페인 政府는 ENUSA를 통하여 外國資源國과의 協力에 의하여 長期供給對策을 마련하고 있다. 即 ENUSA는 Canada, South Africa, Colombia, Nigeria, Gabon 등과 우라늄鑛의 探査 및 生産에 合作投資나 技術協力에 積極 參與하여 우라늄 供給을 確保하는데 努力하고 있다. 그 結果 1983年+1年까지의 國內原子力發電에 必要한 우라늄量을 確保하였다고 한다. 그 例로서 다음과 같은 事業이 있다.

• COMINAK Project:

1975년 불란서의 CEA와協力하여 Niger國 Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK)에 參與하여 Akouta 地域의 우라늄鑛 開發을 위하여 70,000株를 引受하였다. 이것은全體株式의 10%에 該當되며 1978년부터年間生産量의 15%에 該當하는 350噸의 U_3O_8 를 供給받기로 하였다고 한다.

• CONWEST:

1975년부터 多國協力會社인 Conwest Canadian Uranium Exploration Joint Venture (CONWEST)에 參與하여 우라늄 探査活動에 投資하고 있다. 이 Project에는 Canada의 Conwest Exploration Co. Eldorado Nuclear, 英國의 Central Electricity Generation Board, Swiss의 Electrowat Ltd 등이 共同參與 멤버로 되어 있다. 探査地域은 캐나다의 Saskatchewan州와 Quebec州이며 West Geikie River 地域이 有望視되고 있다고 보고 있다.

• Karoo Project

1976년부터 Anglo American Corp.과의 協力下에 South Africa의 Karoo 地方의 우라늄探査에 50%를 參與하고 있다고 한다.

• Colombia Project

Colombia國의 Instituto de Asuntos Nucleares (IAN)과 協力하여 Colombia國內의 우라늄探査에 參與

(2) 우라늄 濃縮供給現況

스페인의 原子力發電計劃에 의하면 앞으로 建設되는 原子力發電所는 輕水型爐(特히 PWR型)가 主宗이 되고 있어 濃縮서비스의 需要가 크다. 1985년까지의 스페인의 濃縮需要累計量은 13×10^6 SWU로 보고 있으며 ENUSA의 第2의 큰 活動은 우라늄原鑛確保에 이어 이 濃縮서비스의 確保에 있으며 海外投資 및 國家間協力 등 多角的인 活動을 하고 있다.

濃縮서비스確保를 위한 活動現況을 살펴 보면 다음과 같다.

• 美國 ERDA와의 契約

1978~1985년까지의 需要의 33%에 該當하는 長期濃縮契約을 맺고 있다.

• EURODIF에의 投資

歐洲의 多國間 濃縮會社인 EURODIF에는 11.1%의 株式을 保有하여 1978~1985년까지의 需要의 21%를 充當할 수 있도록 되어 있다. 불란서의 Tricastin에 位置한 EURODIF 工場의 容量을 9×10^6 SWU/year에서 10.8×10^6 SWU/year로 擴張하는 事業에 參與하고 있으며 또한 EURODIF 會社가 새로운 濃縮工場인 COREDIF에 50% 參與하고 있다고 한다.

• 소련의 Techabexport와의 契約

소련의 Techabexport와 長期供給契約을 1974年 締結하였으며 1978~1985년까지의 濃縮需要의 13%를 供給받게 되었다고 한다. 價格은 美國 ERDA의 價格과 거의 같다고 하며 소련과의 契約價格은 附帶條件에 따라 많은 差異가 있다고 한다.

위에서 記述한 바와 같은 國際協力 및 投資參與를 통하여 1985년까지의 濃縮需要를 全部 充當할 수 있는 準備가 되어 있으며 1987년까지 그 一部를 供給할 수 있다고 한다.

(3) 核燃料加工現況

核燃料設計 및 加工分野는 高度의 技術이 要하며 나날이 發展하고 있으며 技術導入이 比較的 容易한 分野이므로 自力開發 보다는 經驗이 많은 核燃料製造會社로부터 技術을 導入하기로 決定하여 1974年 ENUSA는 Westinghouse 및 General Electric와 製造工場의 建設과 製造技術의 提携, 技術支援에 관하여 15年間의 有効期間으로 契約을 맺고 있다.

ENUSA는 WH 및 GE와의 契約에 따라 Salamanca주(스페인 中西部) Juzbado에 PWR 核燃料 200噸/年 BWR 核燃料 100噸/年 規模의 製造工場을 1979년에 完工할 目標로 建設할 計劃이다. 1982년까지는 이 容量을 2倍로 擴張할 것이라고 한다.

ENUSA는 1980년부터 國內 原子力發電에 必要한 核燃料을 獨占 供給할 豫定으로 있으나 Initial loading 核燃料은 當分間 NSSS 供給者가 設計 供給하고 ENUSA가 注力하는 것은 reload 核燃料이 될 것이며 1977年 및 1978년에 稼動豫定인 Lamoniz 1, 2號機와 Amara 1, 2號機의 4個機(各各 930 MWe)의 3reload 核燃料에 대한 設計 供給契約이 이미 締結되어 있다.

Juzbado 核燃料製造工場은 現在 地方民의 反對 때문에 政府의 許可가 遲延되고 있어 着工하지 못하고 있다고 하며 늦어도 1977年末에는 着工할 수 있을 것으로 보고 있다. 이 工場에 所要되는 投資費는 約 3000萬弗이며 内外資 比率은 50:50으로 推算하고 있다. 工場의 面積은 約 20,000 m², 從事人員은 約 1000名 規模가 될 것이라고 한다.

$UF_6 \rightarrow UO_2$ 로의 轉換工程은 當分間 需要가 商業規模에 未達될 것이 豫想되므로 施設은 해놓지 않되, 將次 設置할 수 있는 空間은 確保해 놓고 있다.

Zry tube는 商業的 規模가 되기 위해서는 10^6 m/year가 되어야 한다고 하며 現在 이의 國產化는 時期尙早라는 意見이며 經濟的 規模가 되는 時期는 1982年 以後에 나 될 것으로 보고 있다.

ENUSA 와 WH 및 GE 와의 契約에 의하면 核燃料設計 및 製作에 관련된 모든 最新技術資術을 供給하도록 되어 있으며 核燃料設計을 위한 Software를 供給받고 있다. WH로부터 받은 主要 Computer code로는 ARK (0-D, Burnup), TORTISE(2-D, Diffusion & Burnup), THURTL(3-D, Burnup), ADDS(Control Program) CYCLE, PALADON(3-D, THURTL과 비슷), APPOLLO(1-D, Diffusion & Burnup), THINC-4(Thermo-Hydraulics, 17×17 assembly), RAD(Thermo-Hydraulics), FLET, 기타 Safety Codes 등이다.

技術要員의 訓練을 위하여 WH에는 設計要員을 Pittsburgh에, 加工技術要員을 Columbia에 派遣訓練하였으며 이 중 設計訓練의 內容은 Nuclear分野 3人, Thermo-Hydraulics分野 2人, Safety分野 2人, Mechanical分野 2人 등 合計 9名이며 期間은 2年씩이었다고 한다.

ENUSA는 核燃料의 供給과 同時에 核燃料의 性能保證과 관련하여 In-core management을 直接 支援하는 役割도 遂行하고 있다.

韓國에서 核燃料加工工場을 導入하는 경우 우리에게 忠告가 될만한 意見을 말해줄 수 없느냐는 質問에 다음 두 가지를 들고 있다.

① Technical Transfer를 좀더 有利하게 하기 위하여 반드시 入札에 부치는 것이 좋다.

② 原子力에 관한 最近의 미묘한 國際情勢 때문에 時期를 잘 選擇하여야 한다.

(4) 核燃料再處理現況

ENUSA:當初 1985년에 稼動시킬 目標로 800~1,000 吨/年 規模의 再處理工場을 國際協力の 多國間 合作投資로 建設할 計劃으로 推進하였으나 美國의 政策으로 인하여 確實한 決定을 내리지 못하고 있다.

스페인 原子力委員會(JEN)傘下의 Sorita 研究센터에 自體技術로 建設하려고 하고 있는 pilot plant 計劃도 遲延되고 있다고 한다.

商用再處理施設의 建設遲延으로 말미암아 原子力發電所에서 나오는 使用後 核燃料의 貯藏問題를 解決할 兼어차피 再處理工場에 設置하여야 할 Central Storage Facility를 建設할 豫定으로 있으며 이 位置는 將次 再處理工場이 位置할 곳에 約 1500吨 規模로 建設할 豫定이라고 한다.

4. 原子力發電所의 國產化現況

原子力發電所 및 關聯施設의 設計, 建設 및 運轉補修에 있어서의 國內工業의 寄與度를 높이는 問題에 대하여는 高度의 産業技術을 必要로 하고 따라서 他分野의 工業을 先導하기 때문에 스페인 政府는 相當히 積極의 이며 組織的인 政策을 쓰고 있다. 스페인 政策은 各 原子力發電所의 建設許可를 承認할 때 國產化率을 指定하며 電力會社는 建設中과 建設完了時에 定해진 國產化率의 達成結果를 政府에 證明하여야 하며 未達된 경우에는 合當한 事由를 提示하도록 하고 있다.

國內工業의 參與를 規定하고 獎勵하기 위하여 스페인 政府가 制定한 法令은 "General Guideline of Mixed Manufacture"이며 1967년에 制定되어 1974년에 많은 修正이 있었다고 한다. 모든 機器裝置製作에는 이 Mixed

表 4-1. 스페인의 原子力發電所建設에 있어서의 國產化現況

Generation of Plants	Spanish Participation, %				
	Overall	Equipment	Civil	Erection	Engineering
1. Generation (In operation) • Jose Cabrera • Santa Maria Garona • Vandellos	40~44	25	65	80	70
2. Generation (Under Construction) • Almaraz 1,2 • Lemoniz 1,2 • ASCO 1,2 • Cofrentes	60	40	100	99	75
3. Generation (Construction has began) • Sayago 1 • Trillo 1,2 • Valdecaballeros 1,2	66	50	100	100	78~80

Manufacture 政策에 의하여 一定한 國產化率의 義務가 주어지나 이와 관련한 機器裝置製作에 必要한 國內製作이 어려운 部品 및 資材를 輸入하는 경우에는 關稅의 95%를 免除받을 수 있는 特惠가 주어진다(1967. 6. 30. Decree 1318에 依據).

스페인에 있어서의 原子力發電所의 國產化現況을 살펴 보면 表 4-1과 같다. 1세대(1969~1972 完工, 現在 運轉되고 있는 3個機)에 있어서의 國產率實績은 40~44%이며, 2세대(1977~1979 完工豫定, 現在 建設中인 7個機)에서의 國產化率은 平均 60%, 3세대(1982~1983 完工豫定, 現在 着工된 5個機)에서는 平均 66%를 達成하도록 政府에서 告示하고 있으나 實際로는 이를 超過하게 될 것으로 展望하고 있다. 國產化率의 算定에 있어서는 全體投資額에 대한 內資購買額을 나타낸 것이며 土地代, 關稅, 住宅費, 利子 등은 除外한다고 한다.

(1) 엔지니어링의 國產化現況

스페인은 在來式 火力發電所의 建設에 있어서는 經驗이 比較的 豊富한 편이나 原子力發電所建設에 있어서는 經驗이 없었으므로 現在 運轉되고 있는 各已 서로 다른 原子爐型의 3個機(PWR, BWR, GCR 各 1機)의 建設은 外國會社를 主契約者로 하는 turnkey 契約으로 이루어졌으며 스페인 엔지니어링會社는 主契約者의 下請者로서 參與하였다. Jose Cabrera(PWR, 160 MWe)는 Gibbs & Hill(美), Santa Maria de Garona(BWR, 460 MWe)는 Ebasco(美), Vandellos(GCR, 480 MWe)는 Societe Pour Industrie Atomique(SOCIA, 불란서)가 建設하였으나 國內技術로 可能한 設計 엔지니어링은 國內下請으로 解決하므로써 비록 turnkey 契約이지만 이들의 國產化率을 70%까지 達成하였다고 한다(表 4-1 參照).

스페인 政府는 機器裝置의 國產化에 力點을 두는 것과 同時에 엔지니어링에서의 國內會社의 參與度를 極大化하는데 힘을 기울이고 있다. 그 理由로서는 엔지니어링 全建設費에서 차지하는 比重이 비록 8~9% 밖에 차지하고 있지 않지만 이를 國內會社가 擔當하게 되므로써 Spec. 作成과 購買에 國內製品을 好意的으로 考慮하게 되어 2重의 效果를 거둘 수 있기 때문이다.

Mixed Manufacture 政策에 따라 後續機마다 엔지니어링 國產化率이 높게 指定되지만 平均적으로 보아 2세대機(1979年 稼動, 7機)에서는 75%, 3세대機(1983年 稼動, 5機)에서는 80%, 4세대機(1985年 稼動)에서는 90%의 國產化率을 達成할 것으로 展望되고 있다.

現在 建設中에 있는 原子力發電所의 建設은 美國의 Architect-Engineering(A-E) 會社(Bechtel 과 Gibbs

& Hill)와 國內 A-E 會社가 共同으로 參與하여 遂行하고 있다. 國內 A-E 能力의 蓄積을 위하여 스페인에서는 다음 3段階의 發展過程으로 區分하고 있다.

1段階 :

美國 A-E 會社가 엔지니어링의 主契約者가 되나 美國에서 遂行하는 일에 스페인 技術者를 派遣하여 積極적으로 參與하고 스페인 A-E 會社가 遂行하는 일에 美國 엔지니어의 協力을 얻어 遂行하는 段階이다.

2段階 :

美國 A-E 會社와 스페인 A-E 會社가 共同으로 契約者가 되며 스페인 A-E 會社가 遂行하는 일과 美國 A-E 本社에서 遂行하는 일과의 scope of work를 分明히 區分하는 段階이다.

3段階 :

스페인 A-E 會社가 單獨으로 主契約者가 되며 美國 A-E의 役割은 어떤 特定技術問題를 解決하기 위한 consultant가 되어 最新技術 및 know-how의 updating과 必要한 情報 channel를 維持하는 段階이다.

스페인의 A-E 能力은 現在 2段階 後半에 있다는 느낌을 받았으며 3段階 A-E 能力은 A-E의 國產化率이 90% 이상되는 4세대機(1985年 稼動)以後에나 實現될 展望이다.

스페인의 主要 A-E 會社現況

스페인에는 原子力發電所建設에 參與하고 있는 主要 A-E로서

• INITEC(Empresa Nacional de Ingenieria of Tecnologia)

• EA(Empresarios Agrupados)

의 2個社가 있으며 이 중 筆者가 訪問한 會社는 INITEC이므로 이 會社의 現況을 要約해 보면 다음과 같다.

INITEC社는 工業省 傘下機關인 Instituto Nacional de Indutrsia(INI)가 100% 投資한 國營會社로서 既存의 在來式發電所의 엔지니어링과 土木設計를 專門으로 하던 AUXIESA를 買收하여 設立한 會社이다. 이 AUXIESA는 約 50餘機의 在來式發電所建設事業에 參與한 經驗을 갖고 있으며 INITEC가 現在 參與하고 있는 原子力發電所는 다음과 같다.

ASCO 1	PWR	950 MWe	1978 完工豫定
" 2	"	"	1979 "
Lemoniz 1	"	"	1978 "
" 2	"	"	1979 "
Vandellos 2	"	"	1981 "

이들 原子力發展所 建設事業에는 美國의 Bechtel과 共同으로 參與하고 있다. 電力會社와는 各已 別個의 獨立된 契約으로 되어 있으므로 INITEC와 Bechtel 간에

는 公式의인 契約關係는 없다고 하는데 實際의 엔지니어링組織은 單一 team을 構成하여 일을 遂行하고 있다. 이 project 組織의 management level(Branch chief 級 以上)에는 INITEC 및 Bechtel 要員이 1名씩으로 構成하여 共同管理體制로 되어 있다. 漸次 經驗이 蓄積되고 能力이 向上됨에 따라 Bechtel이 參與하는 分野와 人員數를 減縮되고 있으며 Bechtel이 本社에서 遂行하는 일에는 INITEC 要員을 꼭 參與시키게끔 한다고 한다. 또한 Bechtel의 支援을 받는 主要分野는 pressure vessel 및 構造物의 stress analysis, piping analysis, seismic analysis 등 software에 屬하는 技術이며 現在 INITEC가 參與하고 있는 原子力發電所建設事業을 위한 engineering project team에 從事하고 있는 Bechtel 人員은 25名이라고 한다.

1機의 原子力發電所의 建設에는 100,000 m³의 콘크리트, 1,000 km의 電線, 30 km의 piping(2.5 以上) 250件의 specification, 12,500枚의 設計圖가 必要하며 A-E에는 약 2.5×10⁶ men-hour, peak 때의 人員은 280~320名이 動員된다고 말하고 있다.

스페인의 또 하나의 A-E 會社는 Empresarios Agrupados(EA)는 政府의 方針에 따라 私企業體인 EPTISA, GHESA 및 TRSA의 3社의 合作投資로 設立한 A-E 會社이다. 前記 3社中 GHESA는 美國의 Gibbs

& Hill과의 合作會社로서 火力發電所建設經驗이 많은 會社이다. 現在 EA가 參與하고 있는 原子力發電所는 다음과 같다.

Almaraz 1	PWR	950 MWe	1977	完工豫定
" 2	"	"	1978	"
Confrentes	"	"	1980	"
Valdecallero 1	BWR	"	1981	"
" 2	"	"	1982	"

이들 事業에는 Gibbs & Hill과 共同으로 參與하고 있다.

(2) 機資材의 國產化現況

스페인의 機械工業은 全般的으로 歐洲의 隣接國에 依存되어 왔으며 그 地域의 어떤 나라 보다도 後進에 屬한다. 大概가 歐洲의 大企業體의 支社나 assembly 工場範疇에서 벗어나지 못하고 있으므로 政府에서는 이를 脫皮하고자 하는 政策을 推進하고 있다.

表 4-1에서 보는 바와 같이 原子力發電所의 機資材의 國產化率이 1世代機(現在 運轉中인 3個機)에 있어서는 25%에 不過하여 그 정도를 알 수 있을 것이다. 스페인 政府는 機資材의 國產率의 提高를 위하여 mixed Manufacture 政策을 積極的으로 推進함과 同時에 每機마다 國產化率을 告示하고 이를 높여가는 政策을 쓰고 있

表 4-2. 스페인의 原子力發電所 機器裝置의 產發化計劃
(스페인 政府 告示)

Equipment	Publication in Official Gazette	Date of Expiry	Spanish Participation, %
NSSS	72.10	82.10	1976-1981
• Vessel			48-72
• Internals			58-72
• Pressurizers			62-77
• Steam Generators			35-44
• Main Pipework			62-72
Storage Batteries	74.1	78.1	70
Boron Injection Tanks		78.1	80
Electrical Installation	74.8	78.8	60
General Pipework & Fitting	74.4	77.11	45
Electric Motor for Pumps	75.2	79.2	72
Special Valves 2'-14"	73.2	83.2	
• Motor-Operated			50
• Manual			58
Steam Turbine 700-1250 MW	73.7	77.7	38
Electric Generator 700-1250 MW	73.7	77.11	50
Auxiliary Steam Turbine	74.3	77.11	50

表 4-3. 스페인의 原子力發電所建設에 있어서의 스페인 産業의 寄與度

Item	% of Items to Total Plant Cost	Under Construction		Spanish Contribution,	
		Spanish Contribution, %	% To Total Plant Cost	Spanish Contribution, %	% To Total Plant Cost
1. Civil Work	16	100	16	100	16
2. Equipment	61	50	30.5	71	43.3
• NSSS	(19)	(34)	(6.4)	(60)	(11.4)
• T-G & Aux. Equipment	(13)	(29)	(3.8)	(45)	(5.8)
• Other Equip	(29)	(70)	(20.3)	(90)	(26.1)
3. Erection	8	100	8	100	8
4. Engineering	8	80	6.4	90	7.2
5. Personnel Training and Exploitation	1	80	0.8	100	1
6. Other Services(Transportation, General Services, etc)	6	80	4.8	90	5.4
Total	100		66.5		80.9

다. 그의 概要를 살펴 보면 2世代機(建設中인 7個機)의 機資材(Equipment) 國産化率은 40%, 3世代機(着工된 5...機)의 機資材國産化率은 50%를 達成하도록 義務化하고 있으며 앞으로 着工되는 發電所는 더욱 높게 策定될 것이라고 한다.

스페인 政府는 各個의 原子力發電所의 國産化率의 策定과 同時에 이에 參與하는 裝置 maker에 대하여 部品別로 國産化率을 告示하고 있는데 그 內容의 例를 보면 表 4-2와 같다.

• Nuclear Steam Supply System(NSSS)

NSSS 製作施設에는 莫大한 資本投資가 必要하며 높은 水準의 技術의 know-how가 必要하며 採算性이 있기 위해서는 一定量以上の 繼續的인 需要가 保障되어야 하기 ...문에 國産化가 가장 늦은 分野이다. 스페인 關係者의 말에 의하면 NSSS 製作施設의 經濟的 妥當性的 break-even은 年間 2機이며 國際的인 價格으로 生産하기 위해서는 年間 4機로서 國內 需要가 最少 年間 3機는 되어야 企業적으로 可能하다고 보고 있다.

스페인 政府는 長期原子力發電計劃에 따라 NSSS 裝置의 國産化의 必要性和 妥當性을 檢討하여 1972年 NSSS 裝置—壓力容器, 蒸氣發生器, 加壓器, 主配管 및 Reactor internals—의 專門 maker인 Empresa Equipos Nucleares, S.A(ENSA)를 設立하도록 하였으며 需要가 一定水準에 到達할 때(1980年代初)까지 獨占生産을 許容하고 있다. ENSA에서 製作되고 있는 NSSS 裝置의 國産化率은 現在 平均 34%이며 1980年 以後에 完了될 NSSS 裝置의 國産化率은 約 60% 達成시킬 計劃이라고 한다.

• Turbine-Generator Plant

表 4-2에서 보는 바와 같이 Turbin... 國産化率은 77년까지 38% 達成하도록 告示되어 있으나 實績은 이 보다 높은 45%까지 達成되고 있다고 하며 Generator에 대해서는 國産化率 50%로 잡고 있으나 實績은 57%까지 達成되고 있다고 한다.

• Boiler & Mechanical Equipment

이 分野의 裝置는 다른 在來工業과의 聯關하여 일찍부터 發達되어 왔으며 많은 製作會社가 있으며 특히 造船工業과 關聯하여 많은 經驗과 技術이 蓄積되어 있는 分野이다. 國産化率은 平均的으로 約 70% 達成되고 있으며 1980年代에는 80~85% 達成할 것으로 展望하고 있다.

• Electrical & Electronic Equipment

Transformer, Substation, Electrical gear 등 電氣裝置의 國産化率은 比較的 높으며 90%를 達成하고 있으나 Computer 등의 電子機器의 國産化는 많이 뒤지고 있고 先進國의 有名 maker의 工場이나 技術提携가 있는 會社가 하나도 없었다.

表 4-3은 原子力發電所建設에 있어서의 스페인 産業의 寄與度를 나타낸 또 하나의 資料를 表示한 것이다. 이 表에서는 各 分野의 item이 全發電所 建設費에서 차지하는 比重이 明示되어 있어 國産化率의 計算基準을 어느 정도 파악할 수 있을 것이다. 即 機器裝置가 建設費 중에서 차지하는 比重은 약 61%로 잡고 있으며 이 61%는 NSSS 19%, T-G & Auxiliary Equipment 13%, 其他 29%로 構成되고 있음을 알 수 있다. 國産化率이 建設中인 原子力發電所에서는 50%(全建設費對比

表 4-4. ENSA 工場 建物 資料

Area	넓 이	높 이	Crane 용 량	용	도
Heavy Machine Area	210×35 m	35 m	900톤 (450톤×2)	• Final machining • Assembly of components • Final hydrotest	
Intermediate Machine Area	165×30 m	30 m	300톤 (150×2...)	• SG fabrication • Tube welding	
Light Machine Area	165×30 m	30 m	225...	• Material receiving • Machining and Welding of rings • Cladding • Construction of subsection	

로는 30.5%) 1980年代에 運轉한 原子力發電所에서는 71%(全建設費 對比로는 43.3%)가 될 것으로 보고 있다.

다음은 筆者가 訪問한 NSSS 專門 maker인 Empresa Equipos Nucleares, S. A (ENSA)의 況況을 記述하고자 한다.

Empresa Equipos Nucleares, S. A (ENSA)

ENSA는 스페인 有款의 重工業企業體 4個社(全株式의 85%)와 3個 電力會社(全株式의 15%)의 合作投資로 이루어진 會社이며 1972年 스페인의 長期에너지需給計劃에 의한 原子力發電所建設의 積極的인 推進方向을 세우면서 設立되었다. 스페인 政府는 1982年 10月까지 NSSS의 國產化率을 平均 60%로 提高하도록 하며 그 時期까지 企業의 獨占을 許可하는 政策을 쓰고 있다. Mixed Manufacture의 guideline로서 NSSS의 名裝置別 國產化率은 1982년까지

Reactor Vessel: 72%

Reactor Internal: 72%

Pressurizer: 77%

Steam Generator: 44%

Main Pipework: 72%

로 높이도록 義務를 주어지고 있다. ENSA 工場은 스페인 北端 Santander州 maliano 海岸에 位置하고 있으며 1973년에 着工하여 1976年末부터 生産을 개시하였다. 建設費는 約 5000萬弗(內資는 \$1600萬弗에 該當하는 11億 pesetas)이라고 한다. 現在 人員規模는 約 500名이며 그 構成은 다음과 같다.

生 産	260名
엔지니어링	70名
QA/QC	80名
行 政	100名
計	510名

生産規模는 3 units/year의 NSSS 裝置製作量이며 이는 1980년까지의 需要量을 맞춘 規模라고 하며 1980年以後에는 4 units/year로 擴張할 計劃이라고 한다.

主工場建物の 内部는 Heavy, Intermediate, Light machine area로 나누어지고 있으며 建物資料를 보면 表 4-4와 같다(内部의 機械 및 施設에 관한 明細는 紙面의 制限으로 省略)

本工場에는 鑄物施設은 없으며 Pressure Vessel, Steam Generator에 必要한 鑄物은 日本, 美國, 獨逸 등에서 piece로 輸入하며 ENSA는 熔接, 機械工作, SS lining 등을 수행한다. 熔接試驗, 機械 및 金屬試驗 등 QA/QC을 위한 施設은 自體에서 保有하고 있다.

ENSA는 Westinghouse社와 license agreement를 맺고 있으며 裝置의 specification은 WH에서 作成되며, 製作方法 및 諸般 analysis는 ENSA가 遂行하고 있다.

一率의으로는 말할 수 없지만 製作原價에서 엔지니어링이 차지하는 比重은 10%, 人件費가 차지하는 比重은 約 20% 程度라고 한다.

減價償却에 있어서는 다른 工場에 대해서는 普通 12年으로 하고 있으나 ENSA는 5年으로 許可하고 있으며 政府에서 많은 incentive를 주고 있다고 한다.

韓國에서 ENSA와 같은 NSSS 裝置製作工場을 建設하는 경우 스페인의 經驗에 비추어 忠告할 것이 있다면 다음과 같은 事項을 들 수 있다고 한다.

① ENSA와 같이 重工業(重裝備製作, 鐵鋼 및 造船工業 등)의 參與는 勿論이지만 여기에 Shipyard會社의 參與가 바람직하다.

② 原子力發電所의 型은 可及的 單一化하여야 한다.

③ 企業이 可能한 經濟性的 Break-even은 2 units/year이며 적어도 年間 2機의 國內需要가 保障되어야 한다(輸出은 不安定하며 原子力發電所를 建設하는 나라는

表 5-1. 스페인 原子力發電所 運轉要員訓練內容

Phase	Training Activities	Location	Duration (Months)
Preliminary A	• Fundamentals of Physics and Mathematics	Tecnatom	1.5
B	• Fundamentals of Conventional Thermal Plants	Thermal Power Plant	6
I	• Basic Nuclear Engineering • Principles of Radiation Protection and NPP Safety	JEN	3
II	• Specific Reactor and NPP Technology • Study of Design Criteria and Functional Requirements • General Description of Components and Systems • Observation Period	Tecnatom & Reference NPP	4
III	• Simulator Training Operative Experience to Respond Safely and Efficiently Against any Functional Situation Under Normal and Abnormal Conditions	Tecnatom	3
IV	• Technology of Own Reference Plant Design Characteristics and Functional • Elaboration and Revision of the Plant Operating Manual	Decided by Utility	12
V	• Familiarization with Own Plant Structures, Systems and Components • Administrative Manuals Preparation • Preoperational Test Participation • Cold Licence Preparation	on the site	20

大概 中進國 以上이기 때문에 이러한 施設을 가출 수 있는 能力이 있음).

④ 原資材 및 部品生産下請者를 國內에 育成하여야 한다.

⑤ Codes & Standards를 單一化하여야 한다.

5. 原子力發電所 運轉要員의 訓練現況

스페인의 原發運轉要員의 訓練課程은 스페인의 原發規制機關인 JEN과 IAEA의 guideline과 勸告에 따른 program에 의하여 수행하고 있으며 그 program을 보면 表 5-1과 같다. 이 program에 의하면 On-the-Job Training을 除外하고는 原子力發電技術과 Simulator Training은 Tecnatom이 專擔하여 遂行하고 있다. Tecnatom은 스페인 國內의 原子力發展所 運轉要員의 訓練을 主管하도록 政府에서 委任받고 있으며 訓練專門要員을 確保하고 있다.

筆者가 訪問한 Tecnatom의 業務現況을 보면 다음과 같다.

Tecnatom, S.A

Tecnatom은 여러 電力會社의 合作에 의하여 設立된 엔지니어링 서비스會社로서 過去에는 在來式 發電所와 관련되는 일을 遂行하여 왔으나 現在는 主로 原發과 關

련되는 일을 하고 있다. 現在 遂行하고 있는 主要業務는

- 原子力發電所 運轉要員의 訓練
- 原子力發電所 Inservice Inspection
- Integrated Maintenance System Management

등이다.

人員규모는 약 70~80名이며 主要部署로는

- Department of Training(20~25名)
- Department of Special Technology(45~50名)

등이 있으며 Dept. of Training에는 PWR Technology 및 BWR Technology의 2個 section으로 構成되고 있으며 Dept. of Special Technology는 Engineering, Inspection, Computer, Maintenance & Reliability의 4個 section으로 構成되고 있다.

(1) 原子力發電所 運轉要員의 訓練

教授要員은 該當專分野에서 적어도 5年 以上の 經歷을 가지고 있고 原子力發電所의 導入과 關聯하여 Westinghouse나 GE에서 運轉要員과 같이 訓練을 받고 Senior Reactor Operator(SRO)의 資格을 取得하고 돌아왔다고 한다. 또한 이들은 火力發電所에서의 勤務經驗이 있는 것이 바람직하다고 말하고 있다.

Tecnatom은 現在 Simulator 設置 및 講義室 其他 試驗機器를 위한 Training Center 建物을 建設하고 있으며 2層建物로서 약 11,000 m²(3,400坪)의 넓이로 되

어 있다.

phase II 訓練課程인 Simulator 訓練을 위하여 PWR simulator 를 1978. 5까지, BWR simulator 를 1978. 12 까지 設立完了할 豫定이며 製作會社는 美國의 Singer Links Co.이며 Reference plant 로는 Lemoniz(PWR, 930 MWe, 1號機 1977年 完了豫定)이며 Control computer 는 Digital Equipment Corp. (DEC)의 製品인 PDP-11/45 의 dual-CPV 를 使用한다고 한다.

Simulator 導入과 관련하여 이의 運營을 위하여 4名의 訓練生을 製作會社에 派遣하였으며 訓練課程과 訓練生의 資格은 다음과 같다.

- 運轉課程(2週) : 原子力發電所 運轉免許
- software 課程(4週) : programmer/analyst로서의 經驗 또는 real-time programming 經驗
- Hardware 課程(10週) : digital electronics 課程履修 또는 digital circuit analysis 를 必要로 하는 電子裝備의 修理經驗

訓練 program 중 phase IV 訓練課程은 電力會社가 決定하는데 一般的으로 Tecnatom 의 主管下에서 訓練生으로 하여금 勤務하게 될 原子力發電所의 plant operating manual 을 作成시킨다고 한다. 原子力發電所의 運轉許可에는 Operating manual 이 必須的으로 要求되는 文書로서 대단히 重要視되고 있다. Tecnatom 은 技術用役으로서 5個機의 Operating manual 을 作成한 經驗을 가지고 있으며 1個機의 Operating manual 作成에는 12,000 man-hour 의 人力이 所要된다. Tecnatom 은 manual 作成에 있어서 特有의 作成方法을 考案하여 運轉 및 補修에 도움을 주고 있다.

(2) Inservice Inspection

Tecnatom 은 스페인內의 모든 原子力發電所에 대하여 ASME Code Section XI에서 要求하는 Inservice Inspection 을 수행하는 專門技術會社로서도 活動하고 있다. 原子力發電所의 Inservice Inspection 에는 高度의 技術과 高價의 裝備가 所要되기 때문에 各個의 發電所에서 解決할 수 없으며 專門化된 會社의 育成이 바람직하다는 判斷에서 Tecnatom 이 擔當하도록 하였다.

Inservice Inspection 은 運轉中 檢査 뿐만 아니라 設計段階인 project 初期부터 이에 대한 考慮를 하여야 하기 때문에 Tecnatom 은 原子力發電所 建設事業 初期부터 參與하여

- Design Guideline 設定
- Inspection Boundary //
- Design Review
- Inspection Program, Technique, Procedure 決定

• Construction Review

등을 수행하고 있다.

Tecnatom 이 保有하고 있는 主要裝備로서는

- Ultrasonic Inspection System
 - Ultrasonic test set (South-West Research Institute)
 - Data Aquisition System (Branson-Krautkrämer Ultrasonic sets)
 - Computer system (Data General NOVA 840 CPU with 32 K memory)
- Steam Generator Tubing Eddy Current System
 - EM 3300 Eddy Current Tester (1KHz-2.5MHz) with Vector Analyzer
- 기타 Manual Inspection Equipment

(3) Integrated Maintenance Management System

原子力發電所의 補修維持는 稼動率을 높이고 安全과 관련되는 機器裝備의 信賴性을 높이는데 대단히 重要하다. 原子力發電所에는 15,000個 以上の 部品이 있으며 이의 補修維持檢査에 要하는 作業指示만 해도 1000件/月이 必要하며 이의 記錄을 維持하는데 莫大한 量의 data file 과 人員이 所要된다. 이와 같은 일을 處理하는데 computer 를 利用하면 1~2名의 人員으로 効率的으로 遂行할 수 있게 된다. Tecnatom 은 原子力發電所의 이와 같은 補修維持記錄과 作業의 効率性을 높일 수 있는 Integrated Maintenance Management System 을 開發하여 電力會社에 서비스를 提供하고 있다.

6. 結 言

今般 스페인의 原子力事業을 視察할 수 있는 機會를 통하여 얻은 諸般資料와 印象으로 大略 다음과 같은 結論을 내릴 수 있었다.

(1) 스페인은 規模가 크지 않은 現在 時點의 原子力産業의 需給을 감안하여 政府主導로 各 技術分野의 專門化를 推進하고 있으며 企業規模에 맞게 關聯産業을 組織化하고 어느 程度의 獨占을 許容하는 事業分擔責任制를 確立하고 있다. 例를 들면

- 核燃料供給 : ENUSA
- NSSS 裝置製作 : ENSA
- 엔지니어링 : INITEC 및 EA
- 要員訓練 및 Inservice Inspection : Tecnatom

등이다.

(2) 스페인은 歐州地域内の 다른 工業先進國의 水準에 早速히 到達하기 위하여 努力하고 있으며 先導技術인 原子力發電所의 設計 및 機器裝置의 國產化를 提高하기 위하여 Mixed Manufacture 政策을 樹立하고, 建設許可節次時에 個個 發電所의 物資調達計劃을 審査하여 國產率을 指定하며 機器裝置製作者에게는 國產化率

을 告示하여 이를 義務化하고 있다.

스페인은 原子力發電技術의 輸入國이면서 國產化提高에 努力하는 우리 나라와 비슷한 處地에 있으며 우리 보다 앞서 있다는 見地에서 배울 點이 많이 있으며 따라서 原子力分野에 있어서 스페인과의 技術協力을 더욱 發展시킬 必要가 있다고 본다.
