

古里原子力發電所 건설계획 概要

A Summary of the Ko-Ri Nuclear Power Plant Construction Plan

보	고
20~3~1	

문 회 성*

(Hee Sung Moon)

제 2차 세계대전의 종결과 더불어 “原子力の 平和的 利用”이라는 목표아래 그 개발실용화에 박차를 가해왔던 原子力發電은 오늘날 드디어 原子爐의 主要生産國인 미국, 영국, 불란서, 캐나다, 서독, 일본등의 선진 각국에서 완전히 상업적인 경제성을 인정받았을 뿐만 아니라 아시아 각국을 비롯한 세계각지의 開發途上國家들로 그 實用化의 폭을 넓혀가고 있다.

이는 단적으로 말하여 1960년대 中期에 상업적인 경쟁력을 얻은 原子力發電이, 在來式火力發電方式에 비하여 發電原價가 저렴할수 있을 뿐만아니라, 사용연료의 수송 및 貯藏에 있어서의 簡便性, 大氣汚染의 輕減等 여러가지 경제적 이득이 있을뿐만 아니라, 開發途上國에 있어서 과학기술향상에 선도적역활을 擔當하고 있으며, 또한 장기적인 에너지 需給面에서 불래 在來式化石燃料의 바닥이 드러나고 있다는 점 등에서 原子力發電開發 加速化의 必然性을 찾아볼수 있는 것이다.

우리나라도 급성장하는 전력수요와 國內可用에너지源의 상대적인 缺乏내지 限界성을 고려할때 앞으로의 전원개발에 있어서 原子力發電의 도입이 불가피하다는 점이 오래전부터 인식되어 왔을뿐만 아니라, 머지않은 장래에 原子力發電이 新規電源開發의 主軸을 이루어야 한다는 점이 논의되어 왔던 것이다.

1962년도에 原子力院(現原子力廳), 韓電, 石公등을 중심으로 原子力發電에 관한 조사연구활동이 시작된 이래, 각종 노력이 이방면에 기울여 졌으며, 1967~1968년간에 있었던 “原子力發電所 건설을 위한 妥當性調査” 결과, 500 MWe 급 이상의 大單位容量 發電所의 경우 原子力發電所 건설이 다른 在來式火力發電所 건설보다 경제적으로 유리하다는 결론을 얻고부터 原子力發電所의 建設을 위한 작업이 본격도에 올라 활발히 추진되어 왔던 것이다.

그후 1968년 6월에 韓電은 우리나라 최초의 原子力發電所가 될 原子力發電所 1號機 建設을 위한 入札案內書를 美國의 General Electric 社, Westing House 社 및 Combustion Engineering 社와 英國의 Nuclear Export Executive 등 4개의 原子爐製作 輸出社에 발송하여 같은해 10월에 이들 4개회사로 부터 見積提議書를 접수 하여 3개월 여동안 이들 提議書를 검토 분석한 끝에 Westinghouse 社의 輸出擔當子會社인 WEICO 社 (Westinghouse Electric International Company)를 1號機 建設을 위한 契約協議 對象會社로 1969년 1월 30일 선정 발표하였다. 그후 약 1년 반에 가까운 오랜 기간동안 建設에 필요한 外貨借款을 얻기위한 交渉을 進行하면서 한편으로는 發電所機資材 供給 및 建設과 初期爐心用 核燃料 공급을 위한 契約協議를 계속하여 1970년 6월 하순에 借款 및 建設契約書의 署名을 완료하였다. 그런데 특기 할 것은 이 사업이 국내최초라는 점과 原子力發電所 건설이 高度화된 종합기술을 요하기 때문에 發電所 敷地整地等 本工事を 원활하게 집행하기 위한 對備工事部分을 제외한 전체공사를 Turn Key Contract 형식으로 계약체결한 것이다.

1970년도 후반기에는 서명완료된 原子力發電所 建設契約의 發効要件과 각종 借款의 引出先行要件으로 되어있는 정부의 사업허가와 外資導入에 따른 對外支拂保證借款등 필요한 제반절차를 완료하고 구랍 12월 31일에 계약금액의 10%에 해당하는 착수금 지불을 위한 信用狀을 開設하므로써 국내최초의 原子力發電所 建設을 위한 계약이 정식으로 발효하게 되었다. 이에 따라 WEICO는 계약 조건대로 60개월후인 1975년 12월말까지는 古里原子力發電所의 建設공사를 완료하고 韓電에 인도하게 되어 있으며 韓電은 여러가지 出力試驗 및 試運轉節次를 거쳐서 1976년 10월에 竣工하여 商業運轉에 들어갈 豫定이다.

* 경희원 : 한국전력주식회사 원자력기술과장

한편 韓電은 WEICO 본 공사의 수행에 차질이 일어나지 않도록 각종 對備工事を 실시하도록 되어있는바, 이를 위해 지난 1970년 9월 1일에는 古里 現場에 原子力建設事務所를 신설 발족시키고 敷地整地工事, 護岸 및 物揚場設置 工事, 動力 및 通信 設備, 工事用假建物 및 倉庫 新築 工事等 여러가지 작업을 계획대로 추진시키고 있으며 드디어 지난 3월 19日 朴大統領을 비롯한 國內外貴賓들을 모시고 古里現地에서 歷史的인 起工式을 舉行하였다. 다음에 古里原子力發電所 건설계획의 개요를 살펴보고자 한다.

◎ 事業 概要

현재 韓電이 1976년 10월 준공을 목표로 건설공사를 추진하고 있는 古里原子力發電所 建設工事的 事業概要를 살펴보면 다음과 같다.

發電所容量; 發電端—595,000 KWe

送電端—564,000 KWe

原子爐型; Westinghouse社 設計製作에 의한 加壓輕水型原子爐 (WPWR: Westinghouse Pressurized Water Reactor)

核燃料物質; 低濃縮 우라늄

(初期爐心平均濃縮度—2.88 w/o)

(平衡爐心平均濃縮度—3.38 w/o)

建設地點; 慶南東萊郡長安面古里

(釜山東北方 30 km 地點)

建設期間; 契約署名—1970. 6. 24

對備工事着工—1970. 9

竣工—1976. 10. 末

設備供給 및 建設工事 分擔;

① 美國 WEICO (Westinghouse Electric International Co.)

—主契約者로서 全體的인 責任,

原子爐系統設備 供給,

初期爐心核燃料 供給,

② 英國 EEW (English Electric & George Wimpey Group)

—WEICO의 Sub-Contractor로서 터빈發電機系統設備 供給,

現場 土木建築工事 및 機器設置工事.

③ 韓電一對政府許認可 業務, 對備工事施行 (用地確保, 敷地整地, 護岸工事, 物揚場設置, 進入道路擴張 및 移設, 外人舍宅, 取水放水路 및 構造物, 工事用動力 및 用水, 送電線路, 通信設備, 假設備, 展示館等.)

總建設費; 外資—\$ 138, 162, 130

內資—\$ 37, 281, 000

計 —\$ 175, 443, 130

財源調達; 美國借款—\$ 66, 524, 517

英國借款—\$ 63, 898, 100

借款計—\$ 130, 422, 617

韓電調達分—\$ 45, 020, 513

計 —\$ 175, 443, 130

◎ 發電所 設計概要

원자력발전소는 단적으로 표현하여 在來式火力發電所의 Boiler에 상응하는 부분을 原子爐 및 蒸汽發生器로 대체하고 運炭, 貯炭, 微粉炭裝置 및 灰處理裝置를 核燃料取扱裝置 및 核燃料冷却用設備로 바꾼것으로 볼 수 있다.

금번 도입건설하게된 古里原子力發電所는 국내최초의 原子力發電所이자 그 용량이 595,000 KWe로서 최대단위용량의 발전소가 된다. 原子爐는 미국의 Westinghouse社가 개발하여 이미 미국내에서 50萬 KWe급의 건설 운전실적이 있을뿐만 아니라, 일본, 서독, 불란서, 스위스등에 상당량의 수출실적을 갖고 있는 加壓水型輕水爐 (Pressurized Water Reactor; PWR)를 사용하게 되며, 터빈은 再熱再生式 Tanddem Compund 형으로 復水器의 冷却用水로는 海水를 사용하게 된다. 또한가치 특기할것은 古里原子力發電所의 건설에 따라, 이의 전력수송을 위하여 국내최초로 345 KV 超高壓送電線을 건설, 울산변전소를 통하여 전력계통에 연결하게 되고, 發電所起動用電源은 울산변전소로부터 154 KV 受電線으로 공급받게 된다는 점이다.

加壓水型原子力發電所의 기본적인 장점은 제 1도에서 보는바와 같이 放射能을 포함하는 原子爐系統과 火力發電所와 동일한 機能을 갖는 터빈發電機系統設備가 蒸汽發生器를 통하여 분리되어 있는데에 있다. 이와같은 설계에 의하여 原子爐系統內의 放射能이 터빈發電機系統에 傳播되지 않게되며 이에따라 氣體廢棄物內의 放射能量이 極少化하여 주위의 放射線安全管理가 간편할 뿐 아니라 터빈系統 機器의 運轉補修作業에도 별도의 放射線管理를 하지 않아도 좋게 된다.

발전소설비는 原子爐 및 蒸汽發生設備, 터빈發電機 및 電氣發生系統設備, 補助設備, 廢棄物處理設備, 計測設備, 電氣設備 등으로 구성된다.

古里原子力發電所의 核心部分인 原子力蒸汽發生設備는 PWR型原子爐, 原子爐冷却系 및 이에 부수되는 補助系로서 구성된다. 原子爐冷却系는 原子爐를 중심으로 이에 연결되는 蒸汽發生器(Steam Generator) 및 冷却材펌프(Coolant Pump)등을 갖는 2個의 Loop으

로 구성되는바 이중 단계의 Loop에는 電氣加熱式 加壓器(Pressurizer) 한대가 부설되어 있어서 1차계통의 압력을 158 kg/cm²로 유지하여 1次系統內에서 沸騰을 許容하지 않도록 高壓수로 存在하게 한다.

原子爐冷却材인 加壓輕水是 爐心の 冷却은 물론 中性子減速材 및 反射體로써의 機能을 겸하고 있으며 硼酸濃度調整制御用 中性子吸收材의 溶媒로써도 쓰이게 된다.

冷却材系統의 各 Loop (回路)는 原子爐最大熱出力의 약 1/2의 열을 제거할수 있는 능력을 갖게끔 설계되어 있다.

加壓器 및 補機는 起動時 및 運轉中の 原子爐冷却材 壓力를 일정하게 유지시키는 기능을 갖고 있다.

蒸汽發生器는 Shell and U-Tube 形의 熱交換器로써 Tube 측이 原子爐冷却材에 연결되고 Shell 측이 터빈 發電機用 蒸汽發生部가 된다. U.Tube의 재료로써는 耐蝕性을 고려하여 Inconel을 사용하고 있다.

冷却材 펌프는 高溫高壓下에 다량의 冷却材를 循環시키도록 설계된 垂軸一般遠心分離型 펌프로써 특히 密封部分(Sealing)의 冷却材 漏洩을 制御할수 있도록 설계되어 있다.

加壓器는 定常運轉中 洩冷却材系統의 壓力를 유지하고 過渡狀態의 壓力變化를 제한하게 된다. 壓力制御를 위하여 加壓器에는 代替可한 電熱器가 加壓器下部물속에 설치되어 있고 Spray Nozzle이 있다. 또한 Relief Valve가 있어서 爐冷却系統壓力이 어느 設定值以上으로 상승하여 過渡狀態로 될 경우에 Pressure Relief Tank에 壓力를 방출하도록 되어 있다.

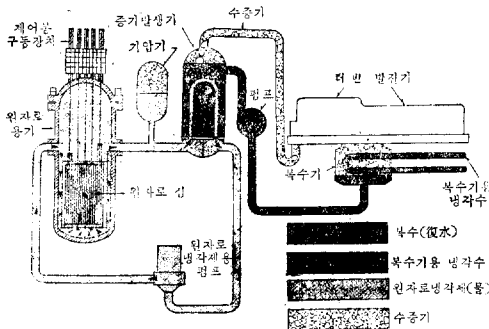


그림 1. PWR 形 발전소 概念 系統圖

Fig.1. Schematic diagram of PWR type power plant.

한편 原子爐補助施設은 原子爐의 運轉 및 안전보호

를 위하여 필요한 시설로써 다음과 같은 설계들로 구성된다.

- (1) 化學體積制御設備(Chemical & Volume Control System)
- (2) 安全注入設備(Safety Injection System)
- (3) 殘熱除去設備(Residual Heat Removal System)
- (4) 試料採取設備(Sampling System)
- (5) 原子爐補機冷却設備(Reactor Auxiliaries Cooling System).

古里原子力發電所의 主要機器仕様을 살펴보면 다음과 같다.

① 原子爐

- 熱出力 : 1728.6 MWt.
- 冷却材流量 : 30,500 Ton/hr
- 爐心入口溫度 : 285.2°C
- 爐心出口溫度 : 321.4°C
- 爐心出口壓力 : 158 kg/cm²
- 壓力容器 높이 : 約 12 m
- 壓力容器內徑 : 約 3.4 m
- 壓力容器重量 : 175 Ton
- 燃料集合體數 : 121 個
- 制御棒 Cluster 數 : 33 個
- 核燃料物質 : 低濃縮 UO₂
- 燃料被覆材 : Zircaloy-4
- 初期裝荷燃料量 : 48 Ton
- 平衡爐心平均燃燒度 : 31,500 MWD/Ton

② 蒸汽發生器

- 流 量 : 1,600 Ton/hr × 2 臺
- 重 量 : 328 Ton
- 높 이 : 約 21 m
- 外徑(最大) : 約 4.5 m

③ 蒸汽터빈

- 流 量 : 3,200 Ton/hr
- 型 式 : TC4F-46"
- 定格出力 : 595 MWe
- 回 轉 數 : 1,800 RPM
- 蒸汽壓力(主停止形) : 53.7 kg/cm²
- 蒸汽溫度(" ") : 267.2°C
- 排氣壓力 : 3.81 CmHg Absolute
- 熱 効 率 : 32.6%

④ 發電機

- 定格容量 : 700 MVA
- 周 波 數 : 60 Hz
- 定格端子電壓 : 22 KV
- 力 率 : 0.85

定格相電流：18,380 Amps

冷却方式：固定子—水冷式

回轉子—水素冷却

水素壓力—4.2 kg/cm²

⑤ 復水器 冷却水量：40 Ton/sec

⑥ 主變壓器

型：屋外油入型

容量：675 MVA

電壓：22/345 KV

◎ 建設工程

右里原子力發電所의 건설공정은 계약에 따라 WEICO 工程(EEW 工事包含)과 韓電對備工事工程으로 크게 나눌 수 있다.

韓電은 1970年 6月 24日 美國 New York 소재 WEICO 本사에서 古里原子力發電所 建設을 위한 機資材供給 및 工事契約을 WEICO 와 정식으로 서명하였으며, 1971年 9월 1日 古里原子力建設事務所를 건설 현장에 발족시키고, 1970年 9월 25日 敷設整地工事着手를 起點으로 韓電對備工事의 適期完了를 위한 諸般作業을 적극 추진중에 있다.

WEICO 公사는 계약발효일인 1971年 1월 1일부터 설계, 機器發注等の 業務에 착수하기 시작하였으며, 1971年 7월 1일까지 WEICO 技術陣이 古里現場에 도착하여 약 3개월간의 工事準備期間을 갖은 후 1971年 10월 1일 경에 착수될 原子爐格納容器 基礎굴착 工事を 始點으로 各種工事が 계속 시행되며, 契約發効後 60개월후인 1975年 12월달까지 모든공사를 완료하여 韓電에 引渡하도록 되어 있으며 韓電은 追加試驗을 거쳐서 1976年 10月 正常的인 商業運轉에 들어가도록 되어 있다.

原子力發電所의 건설공사에 있어서는 Steam Generator (重量：約 330 Ton×2臺), 原子力壓力容器(重量：約 175 Ton)등의 超重量物 輸送手段이 문제점으로 등장하게 되는데, 古里發電所의 境遇 이들 重要 機資材를 海上輸送할 방침이며 이를 위해 線延長 약 116m의 荷役부두를 築造하여 3,000 屯級の 선박이 接岸 가능하도록 할 것이다.

또한 原子力發電所의 건설이 우리나라에서 최초인데다가 준공후 運轉過程中 수반되는 核物質의 處理等이 高度의 技術을 필요로 하고 있기 때문에, 相當數의 要員을 건설작업과 併行하여 確保訓練시킬 필요가 있다. 古里發電所의 竣工段階에 이르기 까지에 필요한 技術系要員數는 約 170名에 達하게 될것으로 생각되어 韓電은 이에 特히 力點을 두고 매년 30명씩 要員을 確保하여 原子力廳의 도움을 얻어 原子力發電技術訓練을

施行하고 이를 마치면 在來式火力發電所에 派遣하며 運轉技術習得을 얻도록 訓練하고 있다. 이에 더하여 이들중 90명을 海外에 派遣하여 技術訓練시킬 計劃이며 現在段階의으로 實施中에 있다.

한편 공사기간중에는 相當數의 外國人技術陣이 현장에 채류하게 될것인바, 공사가 Peak에 달할 1974년경에는 약 100명 가량의 外國인 技術자가 古里原子力發電所 建設을 위해 우리나라에 오게 될 것이다.

◎ 原子力發展의 經濟性

최근 原子力發電은 선진각국에서 急速한 技術향상이 이루어지고 있으며 이에따라 경제성도 현저히 좋아지고 있다. 현재 선진각국에서 많이 개발 건설되고 있는 原子爐型으로는 輕水爐(沸騰水型, 加壓水型), 鎂스冷却爐(Magnox型, 改良鎂스冷却型, 高溫鎂스冷却型), 重水爐, 改良型轉換爐, 增殖爐等이 있으며, 이중 輕水爐 및 鎂스冷却爐는 이미 실용단계에 접어들어 미국을 비롯한 歐美各國에서 활발히 건설되고 있다.

미국에서는 특히 輕水爐의 개발에 급속한 진전을 보아 大容量化에 따른 경제성을 達成함으로써 在來式燃料單價가 저렴한 지역에서도 火力發電과 경쟁가능한 단계에 접어들었다.

영국에서는 주로 Magnox型鎂스冷却爐를 개발하여 왔는데 최근에는 Magnox형 개발에서 蓄積된 여러가지 경험을 反影하여 技術改良한 改良型鎂스冷却爐(AGR; Advanced Gas-Cooled Reactor)가 轉水爐와 비등한 經濟성을 시현하고 있는 것으로 보인다.

캐나다에서는 天然우라늄을 연료로 쓸수 있는 重水型原子爐의 개발에 힘써왔는데 머지않은 장래에 輕水爐와 같은 經濟성 수준에 달할수 있을 것으로 예상되고 있다.

이밖의 여러나라에서도 原子力發電의 經濟성은 현저히 향상되고 있으며 세계적으로 原子力發電은 在來式火力發電과 經濟적으로 競爭possible한 단계에 도달한것으로 보인다.

한편 우리나라의 경우 原子力發電의 經濟성 有無여부가 상당히 오랜동안 검토되어 왔는데, 1968年 5월 ~10월 기간중 美國의 Burus Roe社에 용역 의뢰하여 실시한 “原子力發電所 建設을 위한 妥當性調査” 보고서에 의하면, 500 MWe 급이상의 大容量單位機 建設의 경우에는 原子力發電이 發電原價面에서 在來式火力發電보다 유리한 것으로 結論짓고 있다.

다음 표 1은 현재 건설추진중인 古里原子力發電所의 經濟성을 同一容量級の 油專燒火力發電所 建設과 비교하여 본것이다. 표에서 알수있듯이 原子力發電은 油類

表 1. 古里 原子力發電所의 經濟性

區 分	油 專 燒 火 力 發 電	原 子 力 發 電
出 力 (KWe-N)	576,000	564,000
建設單價(\$/KWe-N)	155	267
年間固定費率(%)	10.16	10.16
年間利用率(%)	80	80
發 電 原 價 (mills/KWH)	—	—
固 定 費	2,247	3,870
燃 料 費	3,800	1,800
運 轉 維 持 費	0.252	0.298
核 保 險 費	—	0.052
計	6.299 (1.95/KWH)	6.020 (1.87/KWH)

주: 적용환율 310₩/\$

火力보다 固定費부분 即 初期投資費가 상당히 높으나 연료비가 油類火力의 1/2정도에 불과하여 其他因자를 고려하더라도 發電原價面에서 0.28 mills/KWH 정도 저렴할것으로 推定되고 있다.

이상에서 古里原子力發電所 建設計劃 概要를 살펴본 왔는데, 앞서 말한바와같이 본사업규모의 방대함과 본사업이 미칠 여러가지 간접적이익을 고려할때 단순한 전력사업으로써만 다룰것이 아니라 보다 學國的인 노력이 傾注되어야 할것이다. 따라서 본사업의 성공적 수행을 위해 학계는 물론 政府關係機關 및 社會各界의 보다 적극적인 참여와 협조 있기를 強調하고자 한다.



(P. 64에서 계속)

특허 청구의 범위

본문과 그림에 의하여 상세히 설명한 바와 같이 수정발전기의 출력 동조회로에 역으로 직렬 연결된 두개

의 가변용량 다이오드를 부착시키고 상기 다이오드 연결점이 변조입력을 가하여서된 수정발전기의 진폭변조 장치.

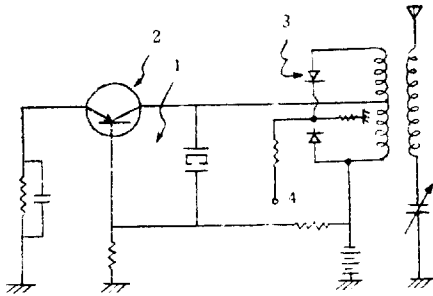


그림 1.

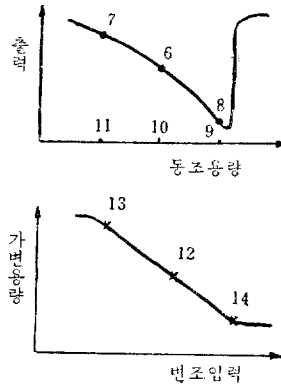


그림 2.