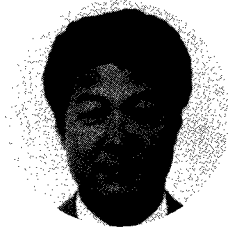


# 古里5·6號機의 建設經驗

## 및 施工技術 蓄積現況



李 暎 震

(現代建設(株) 理事)

### I. 概 要

현재 세계의 原油價格은 供給過剩으로 말미암아 대폭적인 下落勢에 있으나 化石燃料 매장량의 限界性에 비추어 볼때 원유가격의 再反騰은 거의 확실시되고 있다. 특히 賦存資源이 빈약한 우리나라로서는 이러한 때 脫石油政策에 박차를 가하여 에너지源의 多邊化에 더욱더 노력을 경주하여야 할 것이다.

이런 意味에서 古里5·6號機의 竣工은 우리에게 매우 큰 的의를 지니고 있다. 1979년 4월 掘鑿을 시작한 이래 6여년간 延人員 900만명이 동원된 大歷史끝에 준공을 봄으로써 우리나라는 현재 5기의 原子力發電設備가 가동, 總出力 3 816MWe로써 원자력발전 占有率이 22.3%에 달해 명실공히 核發電國으로 浮上하게 되었다. 특히 現代建設은 국내 原電의 建設사상 최초로 Non-Turnkey계약 방식의 시공 분야 主契約者로서 고도의 技術集約인 本工事を 성공적으로 수행함으로써 원전 建設 施工技術 自立化의 기반을 마련하였다. 이에 現代가 시공하였던 주요 新工法 및 공사 수행중 발생되었던 주요 問題 등을 간략하게 소개한다.

### II. 主要 建設現況

#### 1. 土·建工事 部門

##### 가. 土木工事

古里5·6號機 建設 作業에 있어 土木工事に 대한 設計, 施工, 品質管理, 監理 등 모든 분야는 순수한 국내 技術陣에 의해 수행되었으며 크게 아래와 같이 나눌 수 있다.

- 1) 敷地整地 및 岩盤掘鑿 공사
- 2) 工事進入路 開設 공사
- 3) 海岸埋立 및 護岸築造 공사
- 4) 取水路造成 공사

특히, 5·6호기 岩盤掘鑿作業 및 發破時에는 고리 1호기가 가동중이었으며, 고리 2호기의 건축공사가 한창 진행중에 있었으므로 매우 신중을 기해야 했다. 발파시마다 발파 지점을 중심으로 여러 개의 振動測定計를 설치하여 작업에서 오는 충격을 記錄, 檢討하여야 했으며 大容량의 콘크리트 타설후 7일 동안의 養生期間 中에도 발파를 약하게 여러번으로 나누어 수행하는 등 작업상 많은 난관이 있었다.

한편, 工事現場이 협소한 관계로 초기에 현장내 공사 도로를 수시로 굴착, 매몰하여 裝備

및 車輛進入路를 개설하면서 고리 5·6 호기의 基礎掘鑿 공사와 海岸築造 공사를 훌륭히 완수하였다.

**나. 建築工事**

建築工事는 크게 本工事, 構造體工事 그리고 마감공사 및 附帶工事로 구분되는데, 여기서는 각 建物別로 新工法 및 건설 방법에 있어서 특이한 것만을 서술하려 한다.

1) Containment Building(原子爐格納建物)

原子爐와 原子爐冷却系統을 수용하며 冷却材 유출 사고시 放射能物質의 유출을 막고 生物學的 및 物理的으로 외부와 遮蔽를 하여 주는 방호벽 역할을 하는 건물이다. 특히 바닥은 10피트 두께의 기초 Mat로서 콘크리트 타설시 28시간 동안 연속 타설로 6,200cy(4,500M³)을 Cold Joint 없이 완료하여 單一構造物 콘크리트 타설량으로 세계 신기록을 수립하였으며, 이를 위하여 Creter Crane 및 Placing Boom 등 대규모 콘크리트 타설 장비들을 동원하였다.

또한 두께 120cm인 원형 콘크리트 벽면은 Steel Jump Form을 사용, 10피트씩 단계적으로 쌓아 올라가 하나의 콘크리트 Ring形狀으로 축조되었다.

2) Post-Tensioned System

LOCA時的 압력은 建物壁體에 큰 壓縮力과 引張力을 유발한다. 이러한 압력은 건물의 内

〈표 1〉 主要 施工裝備 投入現況

區 分	裝 備 名	대수	用 量
콘크리트 타설 장비	Creter Crane #1	1	110cy/hr
	Creter Crane #2	1	80cy/hr
	Placing Boom	3	110cy/hr
	Pump Truck	1	60cy/hr
	Swing Pump	3	60cy/hr
Agitator	Truck 레미콘	16	8cy
Main Temporary	Batch Plant	1	200cy/hr
		4	200, 150, 80, 40 cy/hr

部容積을 늘림으로써 조정할 수 있는데 그렇게 할 경우 地震力에 약하게 된다. 따라서 古里5·6號機 原子爐格納容器 건물은 設計壓力에 의해 발생하는 콘크리트 内部應力을 全斷面에 효과적으로 분산, 감소시켜 주는 안전하고 경제적인 Post Tension工法을 도입하였다.

3) Turbine Pedestal Column

Pedestal Column철근 작업시 #58번(φ18㎜) Re-bar를 Tower Crane을 사용, 현장에서 수직으로 piece by piece로 조립하던 것을 지상에서 조립 및 CAD Welding하여 600톤 大型 Ringer Crane으로 한번에 설치를 완료하였다.

4) Deck Plate 工法

콘크리트 Support의 설치 및 철거가 필요없으며 上下同一空間에서 동시에 작업 수행이 가능한 Deck Plate工法을 사용하였다. 특히 Turbine Building에서의 Deck Plate工法은 매우 효과적이었다.

**2. 機械工事 部門**

機械工事의 주요 工程別 공사 현황은 다음과 같다.

가. 原子爐格納容器 組立

나. 機器設置 공사(Reactor, S/G, T/G, Tank 등)

다. 配管공사

라. 保溫作業

마. 空調設備(HVAC)

바. Flushing, 水壓試驗

가. 格納容器 組立공사

고리 1호기의 경우 Steel Containment Ring을 Jack-Up工法으로 수직으로 밀어 올리면서 Piece by Piece로 용접하였고, 2호기의 경우에도 지상에서 部分組立된 Large Plate를 Derrick Crane을 사용, 시공하였으나, 5·6호기에서는 콘크리트 格納容器内面の Liner Plate(두께 6㎜ 철판)을 지상에서 2段 Ring(높이 약 6

m, 직경 40m)으로 조립, 600톤의 超大型 Ringer Crane으로 설치하는 공법을 이용함으로써 복잡한 工程을 단순화시키고 고도의 安全作業을 수행하였다.

#### 나. 機器設置工事

##### 1) 原子爐 및 蒸氣發生器 설치공사

重量物 중 가장 무겁고 중요한 原子爐 및 蒸氣發生器 설치에 있어서는 現場與件 및 Crane 用量 등을 고려하여 Rigging Plan과 Rigging Diagram을 작성, 단계별로 설치 및 검사를 수행함으로써 우리 기술로 성공적으로 설치하는 凱歌를 올렸다.

##### 2) Polar Crane 설치 공사

Polar Crane을 3개 부분(Bridge, Girder, Trolley)으로 지상에서 部分組立한 후 600톤 Ringer Crane으로 操揚, Top Dome이 설치되지 않은 상태에서 格納建物 천정을 통해 설치함으로써 설치 기간을 단축하였다.

##### 3) T/G 설치 공사

터빈 건물 100피트상에 Loading Bay를 보강한 후 400톤 Dolly를 이용하여 장비를 건물 내부로 운반한 후 400톤 Lifting Device 및 터빈 건물의 240톤 Overhead Crane을 이용하여 설치하였다.

##### 4) 콘덴서 설치 공사

콘덴서를 5개 부분(Shell 2, Transition 2, Neck 1)으로 부분조립한 후, 현장으로 운반하여 Ringer Crane으로 操揚, 假設現場에서 완전 조립한 다음, 高荷重用 Roller를 이용, Pedestal Column사이의 永久位置로 Pulling 설치하였다.

##### 5) Yard Tank 설치 공사

Yard Tank부문은 設計에서부터 製作, 設置까지 완전히 국내 기술진만의 힘으로 수행되었다.

##### 6) 補助機器 설치 공사

건축 Anchor Bolt설치와의 시간을 맞추기 위해 Bolt설치 작업을 機械設置 Team으로 移管, 단일화시켰으며, 종류 및 형태가 다양한 보조기 설치 공사인만큼 정확한 資材把握 및 시공

을 위한 必要工具의 使用前·後管理에 중점을 두었다.

#### 다. 配管工事

機械工事의 70%를 차지하는 방대한 물량일 뿐아니라 가장 중요한 공사로 大口徑配管, 小口徑配管 및 配管支持物로 구성된다.

##### 1) 大口徑配管

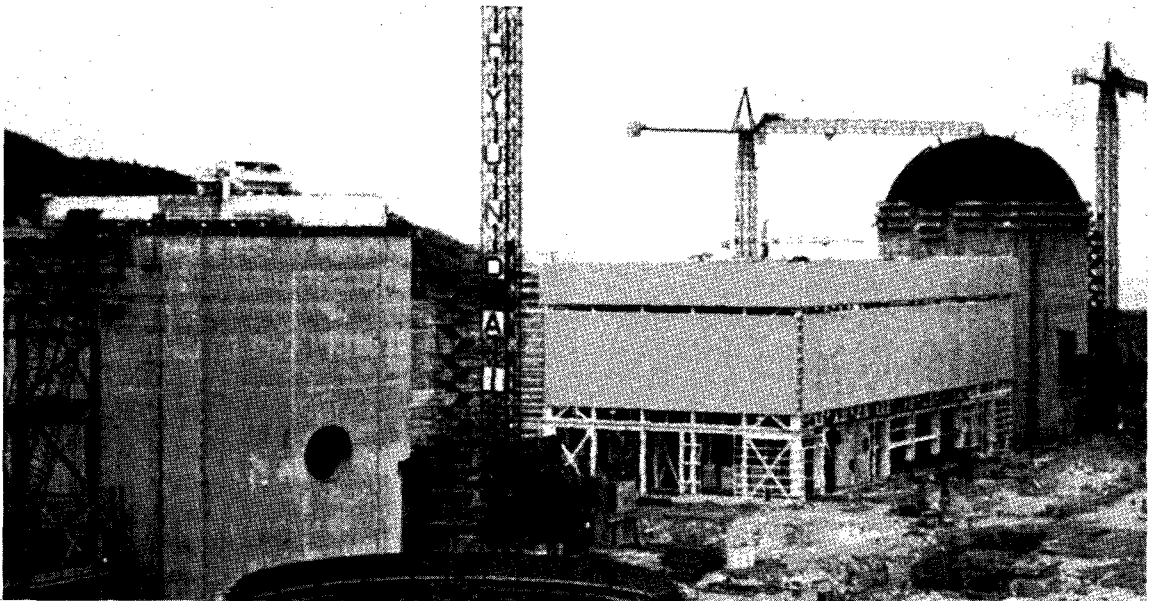
大口徑配管은 Vender側에서 圖面에 따라 제작한 다음 현장에 도착되나 제작 잘못으로 인하여 返品되는 경우가 있었으며, 搬入된 資材들도 Sequence가 맞지 않아 설치할 수 없는 경우도 간혹 발생하였으므로 韓電側과 협의하여 현장에서 수정, 설치함으로써 工期促進을 꾀할 수 있었다.

##### 2) 小口徑配管

小口徑配管은 大口徑配管과는 달리 現場施工者가 제작 및 시공을 하게 되어 있어 공사 초기에 제작 shop을 운영, 도면에 따라 제작하여 現場設置되었으나, 圖面誤診 및 다른 設置物과의 干涉 등으로 인하여 재작업이 많이 발생하였다. 따라서 現場 WDT(Walk Down Team)를 구성하여 설치 전 미리 현장을 조사하여 즉시 도면을 수정, 먼저 배관 작업을 한 다음 設計變更 圖面을 승인받는 식으로 많은 시간을 절감할 수 있었다.

##### 3) 配管支持物 제작 및 설치

배관 지지물은 배관 작업과 병행하여 설치해 나가야 하나 資材到着이 適期에 이루어지지 않아 현장에서 작업 일정을 맞출 수 없었으며, 특히 Turnover된 系統에 설치되는 자재의 到着遲延으로 작업 수행상 再水壓試驗 등 많은 복잡성을 초래하였다. 또한 既設置物과의 干涉 등으로 인하여 설계 변경을 하지 않고는 설치가 불가능한 요소가 상당히 많이 발생하여 工期遲延 및 生産性低下를 가져왔으나 現場擔當者들의 끊임없는 노력으로 어려움을 극복할 수 있었다.



#### 라. 保温作業

關聯作業이 완료된 후 보온작업을 수행하였으나, 先行作業(배관 및 배관 지지물)의 도면 수정으로 인해 작업 완료된 보온작업의 재작업이 발생하게 되었으며, 또한 Duct保温에 사용되는 Tape의 접착력이 약하고, Duct 내부의 Air Leak로 인해 부착된 Tape가 떨어지는 경우가 종종 발생하여 Tape제작사에 補強線개발을 유도, 시공함으로써 품질 향상을 이룩하였다.

#### 마. HVAL용 Duct제작 및 설치

Duct用 薄板의 용접 작업을 CO<sub>2</sub>용접 및 MIG 용접 방법을 활용함으로써 철판의 굴곡을 방지하고 용접 속도의 능력을 향상시켰으며 품질의 均一化를 달성할 수 있었다.

#### 바. Flushing 및 水壓試驗

Flushing 및 水壓試驗은 배관과 제반 기기를 세척하고 壓力試驗을 함으로써 설치된 모든 機械 및 機器의 작동 여부를 보증하여 주는 작업이므로, 건설에서 試運轉으로 Turn-Over하는 과정에서 가장 중요한 작업이라 할 수 있다. 이러한 작업의 수행에는 많은 어려움이 있었다. 자재의 공급 지연으로 인한 配管工事遲延은 水

壓試驗計劃을 맞추기 위하여 주로 야간에 수행할 수밖에 없었으며, Flushing의 경우 24시간 교대 근무를 실시하였다. 특히 모든 수압 시험 전후에 다음과 같은 사항들을 점검하는데 많은 시간이 소요되었다.

- ① Guage교정, Relief V/V 및 pump 작동 상태 확인
- ② V/V의 설치 방향 및 V/V Line Up상태 확인
- ③ 警告 Tag부착 상태 확인
- ④ Test후의 System 원상 복귀

### 3. 電氣工事 部門

전기 공사는 電氣機器設置工事, 電線埋設 및 結線工事, 屋外 開閉機器(Switch Yard)設置工事 및 計裝設備設置工事라는 4개의 단위 공사로 구성된다.

#### 가. 電氣機器 설치 공사

전기기기 설치 공사는 C/V内部로 전력을 전달하기 위한 Electric Penetration Assembly (EPA) 설치 공사와 變壓器 설치, Bus Duct설치, Switch Gear를 비롯한 Electric Pannel설

치 공사가 포함된다.

이러한 機器들을 설치하는 데는 많은 어려움이 있었는데, 즉 자재의 適期投入遲延 건물 내부의 既設置 설비와의 干涉 및 管理維持 문제들이 발생하였으며, 특히 각종 기기가 편중되어 있는 MCR과 Switch Gear Room에는 기기 반입로의 개설에 많은 어려움을 겪었다.

이러한 어려움을 극복하면서도 '83년 1월에 시작된 機器設置工事중 Bus Duct가 '84년 10월에, 각종 기기가 '85년 8월에 각각 완료되었다.

#### 나. 電線埋設 및 結線工事

電氣的으로 작동되는 모든 機器, 및 計器에 電源을 공급·전달해 주는 전선을 Race Way(Cable Tray, Conduit, Electric Duct)에 鋪設하는 작업으로서 전선과 Cable은 冷却水喪失事故로 인한 熱, 壓力, 濕度 등의 복합 여건 밑에서 견딜 수 있어야 하며, 또한 발전소 수명에 기초를 둔 40年 동안의 總放射線 누출량인  $1 \times 10^8$  Rad에 견디어야 한다. 古里5·6號機에 사용된 Cable은 15KV HV Cable, 5KV Cable, 600V Power Cable, 600V Control Cable 및 Instrument Cable 등으로서 그 총량이 무려 4,200km에 달하는 막대한 양인데, Tray에서의 鋪設작업때 Tray상의 Cable에 손상을 줄 수 있는 부분은 미리 조사, 제거되어야 했고, Conduit 및 Duct Bank Cable을 풀 때 Cable뒷벽 압력이 초과되지 않도록 충분한 반지름을 가진 Sheave나 Roller가 선택·사용되어야 했으며, 특히 설치된 Cable의 보호에 상당한 주의가 필요했다.

#### 다. SWYD설치 공사

SWYD 설치 공사는 판넬, 變壓器, Distribution Panel, 電流變換機(CT), 電力回路遮斷機(PCB), 배터리 등의 機器設置工事, 총 18개의 鐵塔과 8,500m에 달하는 架空支線의 架設 및 CGI(Compressed Gas Insulated) Bus設置工事로 이루어진다. 이 중 어려웠던 공사가 CGI Bus 공사로서 이 Bus는 Enclosure와 Bus내

부의 한가운데에 위치하는 Conductor사이클 SF<sub>6</sub>氣體로 絶緣시킨 電氣回路로서, 현장에서의 조립 시간 단축을 위해 공장에서 조립·공급되었다. Bus의 現場設置의 주작업은 용접으로 古里5·6號機의 경우 MIG방법이 사용되었으며, 숙련된 용접사의 선정과 Bus 두께의 전류 및 전압이 고려된 용접기의 준비가 가장 중요하였으며, 특히 용접시 有毒가스가 발생하므로 주의가 필요했다.

이 SWYD 설치 공사의 早期完工은 전반적인 工程이 계획보다 늦어지고 있던 당시 상황에서 全工程率 만회 계획의 전진차가 되었으며, 특히 建設試驗(CAT) 및 豫備運轉(Pre-Operation)의 수행을 위해 安定的이고 良質의 전원을 공급하는데 큰 기여를 했다. 또한 SF<sub>6</sub> Bus의 內壓試驗은 국내 최초로 이루어진 415KV 고압시험이었으며, 여러번의 시행착오를 거쳐 稼動用變壓器의 초기 加壓이 성공리에 완료되었다.

### 4. 工程管理 部門

5, 6호기 건설에 있어서 事業主인 KEPCO는 美國 Bechtel社를 통해 사업관리에 대한 전반적인 지원을 받았다. 工程管理方法으로는 일반적인 PERT/CPM이 아닌 Bechtel社 특유의 APS(Activity Package System) 및 CIS(Construction Intermediate Schedule; 각 공정을 건물별 또는 높이별로 2,000여 개의 Activity로 나누어 엔지니어링, 資材調達, 그리고 設置에 대해 각기 우선 순위를 준 Bar-Chart식의 Schedule)가 도입·추진되었으나, System Base로의 추적이 곤란하여 실효를 거두지 못했다. 따라서 공사 중반에 System Turnover를 위해 월별 Bulk 物量處理要求量이 표시된 目標回復計劃(Target Recovery Plan)을 추진했으나, 이것 역시 갖가지 문제점으로 인하여 死藏되었다. 그 외에도 現在는 機電工事 착수 시점에서 系統 위주의 PERT/CPM 方法을 추진하

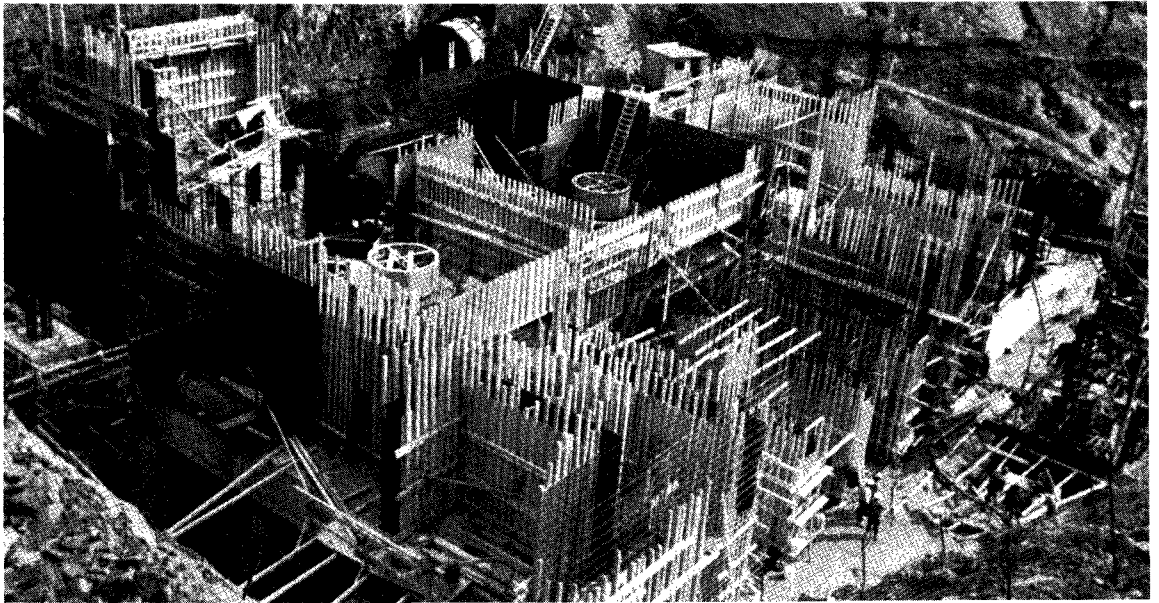
려했으나, KEPCO 및 Bechtel측이 보유한 기존 電算系統體制(APS)의 전반적인 전환의 어려움 때문에 이 계획도 무산되었다. 더욱이 System Base로의 追跡·管理機能을 가진 Detailed Logic Schedule이 실질적으로 없었으며, 특히 설계 지연 및 상당 부분의 기자재 공급지연은 System Turnover 및 전반적인 공사 진척에 많은 영향을 주었다. 따라서, 工事初期에 이미 1년 이상의 工期遲延이 예견되었으므로, 1983년 중반부터 KEPCO, 現代, Bechtel의 三者는 System Turnover를 集中管理하는 CCG(Construction Completion Group)을 발족시켜 이로 하여금 建設組織과 試運轉組織 사이의 중재를 담당케함으로써 突貫工事體制的 突入 등 어려운 고비를 극복, 주어진 공기내에 공사를 무난히 마칠 수 있었다. 그러나 系統別物量集計, 問題點項目作成 등에 많은 人力이 소모되었다.

한편, 고도의 管理技術이 요구되는 綜合現場에 대해서는 資材, 人員, 經費, 日程管理 등을 원활히 하게 하는 PERT/CPM技法이 절실히 요구된다 하겠으며, 이를 위해서는 엔지니어링 會社, 機資材 供給者, 그리고 施工者 사이의 원

만한 협조가 전제되지 않으면 안되었다.

## 5. 品質管理 部門

品質管理部門에서 現代는 원자력발전소 건설을 위한 美聯邦規格 10CFR 50 APP. B 18 C-criteria를 기준으로 한 독자적인 Quality Program을 수립하였으며, 작업 절차 및 검사 기준의 표준화를 위해 200여종의 作業節次書 및 檢査指針(Work Plan Procedure & Quality Control Instruction)을 작성하여 安全性確保를 위한 品質施工에 임하였다. 현장 품질 검사에는 ANSI N45. 2.6 Code에 따라 적절한 교육과 훈련을 받고 소정의 시험에 합격하여 資格認證된 要員만이 활동할 수 있어 品質檢査要員의 자질 확보는 최우선 요건이 된다. 이를 위해 現代는 美 EBASCO社의 전문가 초청교육 및 현지 파견교육을 실시한 것을 비롯하여 Bechtel社의 現場教育, 現場 QA/QC 자체 교육, 에너지研究所 주관 原子力教育 등을 통하여 품질관리 要員의 자질 확보에 만전을 기하였고, 시공 기간중 本社 QA에서 ASME의 NA, NPT 認證書を 취득(1982. 4)한 것은 現代의 品質保證活



動能力에 대한 국제적인 公認을 받는 계기가 되었다. 또한 자재 공급의 國産化率을 높이고 아울러 良質의 자재를 생산, 공급할 수 있도록 現代가 지도 관리한 生産業體는 60여개에 이른다.

국내 최초의 원자력발전소인 古里 1號機와 그 後續機인 2號機때만 해도 設計 및 機資材 供給, 作業節次書 作成, 工程管理, 施工, 品質 保證活動 등 모든 분야가 외국기술진에 의존, 추진된 것에 비할 때, 古里5·6號機의 경우는 現代가 모든 분야에 自立化를 이룰 수 있는 계기가 되었다.

### 6. 試運轉 業務

試運轉分野는 건설과정의 未備事項을 종합적으로 확인, 보완하여 설계시에 목적인 性能이 발휘되는지를 확인하는 과정이다. 즉 건설작업 후 계통 및 기기, 계기의 性能試驗, 洗淨, 豫備運轉試驗, 常溫機能試驗, 高溫機能試驗, 核燃料裝填, 出力運轉試驗, 100% 性能試驗 등을 거쳐 商業發電段階에 이르는 일련의 과정이 시운전의 중심적인 수행 업무이다. 이러한 시운전 작업은 본질적으로 업무 자체가 動的이고 건설작업의 良否를 綜合評價하는 과정이므로 未備事項에 대한 책임 소재의 확인 및 보완 과정에서 關聯建設部署와의 마찰도 있었으나, 조속한 준공이 공동의 목표임을 점차적으로 상호 인식하게 되어 系統引繼 후는 시운전 팀이 주체가 되어 마무리 업무를 원활히 진행하여 나갔다.

上記 사항 이외에도 CCG 부서를 구성하여 工期促進을 위해 現場內 모든 업무의 현황 파악에 주력하여, 殘餘物量의 정확한 파악, 작업 우선 순위의 결정, Critical Work의 상세한 계획서 작성 및 系統引繼를 위한 요구 사항을 작성, 현장 담당자에서 통보하여 각 부서간의 균형적인 작업 진행으로 건설공사 완료에 상당한 도움을 준 것으로 판단되었다.

또한 現場業務의 電算化를 꾸준히 추진하여

효율적인 工事管理 및 文書管理는 물론 특히 가장 복잡한 配管資材를 電算處理하여 精算作業에 많은 인력과 시간을 절감함으로써 기술 축적 및 공기 단축에 많은 도움을 주었다.

### III. 結 論

古里5, 6號機의 준공은 國內産業界 및 사업주체인 韓電과 시공 부문 주계약자인 現代建設에 모두 중요한 의미를 준다.

韓電側으로 보았을 때는 國家電源開發計劃에 의거, 脫石油政策 및 에너지 多邊化政策에 부응하는 강력한 대체 에너지원을 확보하여 값싼 전기를 생산하며 연간 1억7천만 달러의 油類代替效果를 가져와 외화 절약에 크게 이바지하게 되었으며, 機資材의 國産化率을 29.4%까지 끌어올려 國內産業發展에 큰 파급 효과를 가져왔다.

또한, 現代建設은 16년간의 원자력발전소 건설 경험을 통한 技術蓄積 및 人力養成으로 시공 분야의 국내 自立化基盤을 쌓아 靈光 7·8號機에서는 시공 기술의 완전 자립화를 이룩할 수 있게 되었다. 現代의 이러한 시공기술은 原電建設의 특수성에 비추어 볼 때 어떠한 댓가로도 바꿀 수 없는 귀중한 것이다. 現代는 원전 건설에 있어서 축적된 경험과 기술, 管理能力, 保有裝備 및 建設人들의 투지와 끈기가 얼마나 중요한가를 체험하였으며, 그것을 古里5·6號機에서 증명하였고, 계속하여 靈光7·8號機에서도 더 좋은 결과를 이루도록 연구와 노력을 경주하고 있다.

더불어 앞으로의 原電 11·12號機의 건설에는 모든 原子力産業界가 Engineering의 自立化, 機資材 國産化率 提高 및 蓄積된 技術과 人力을 바탕으로 한 工期短縮과 原價節減에 힘을 기울여 경제적인 原電建設이 이룩될 수 있도록 모든 노력을 아끼지 말아야 할 것이다.