

技術解說

한 開發途上國家의 電子工學과 原子力

李 炳 璿

原子力研究所 電子工學研究室

序 言

1969년에 國際原子力機構(I.A.E.A.)의 獎學金으로 一年間 印度 Bombay 에 있는 Bhabha 原子力研究所(Bhabha Atomic Research Center) 電子工學研究室에서 核電子工學에 關한 研究를 하는 동안에 그 나라의 電子機器 및 原子力의 開發에 關하여 보고 느낀것을 紹介한다.

印度에는 H.I. Bhabha 博士라고하는 한 宇宙線 物理學者가 있었다. 이 사람이 自己 나라의 科學과 技術을 어떻게 成長시키겠다는 事를 建議하는 1944年 3月 12日 書信中에 다음과 같이 썼다고한다. “原子力을 20年內에 原子力發電에 成功的으로 應用하면 印度는 海外에서 專門家를 物色할 必要없이 國內에서 可能할것이다.”

이 提言은 첫 原子爆彈이 日本 廣島에 떨어지기 一年以上 前의 일이고 原子爐가 成功的으로 稼動되었다는 것이 公表되기 前의 일이며 原子力發電의 이야기가 있기 훨씬 오래전의 일이다.

이 文右는 그 나라 原子力界에서 大端히 有名한 달이고 이 提言은 그대로 成就되어서 現在 必要한 專門家를 國內에서 充當하고 있는 同時에 나아가 海外에 專門家를 配出하고 있어서 韓國에도 이미 몇명이 다녀간바있다.

Tata 基礎研究所

當時 科學의 發展에 關한 Bhabha 博士의 이 提言은 1944년에 Tata 財閥(Tata Trust)에 依하여 받아 드려져서 財政支援의 責任을 지기로 되었다 1945년에 Tata 財閥과 Bombay 自治政府와 共同으로 Bombay 에 Tata 基礎研究所(Tata Institute of Fundamental Research)가 設立되어 主로 核物

理學, 宇宙線 및 高 energy 物理學을 研究하게 되었다. 當時 Bhabha 博士는 Bangalore 에 있는 科學大學의 敎授였었는데 이 基礎研究所의 責任을 맡게 된것이다.

: 基礎研究所는 처음부터 Bombay 大學을 비롯하여 여러 大學과 密接한 關係를 갖고 있어서 많은 學生들이 博士學位를 爲한 研究를 이 研究所에서 함으로서 많은 科學人材를 養成하였다고 한다.

이 研究所의 運營方針은 獨逸에 있는 Max Planck 研究所와 마찬가지로 처음에 研究所를 먼저 짓고 다음에 適當한 사람을 求하는것이 아니라 우선 有能한 人材를 求하고 그에게 研究室을 지어주는 식이다. 그리하여 이 研究所는 처음에는 빌린 작은 臨務 建物에서 研究가 始作되었던 것이다. 設立된지 2年째부터 中央政府로 부터도 財政支援을 받게되었고 1955년에 中央政府가 完全運營責任을 맡게되고 財政支援의 거의 全部가 中央政府의 原子力廳(Department of Atomic Energy)을 통하여 나오게되었다. 이와같이 이 나라의 原子力에 關한 歷史는 Tata 基礎研究所와 깊은 關係를 갖고있다.

研究員의 充員은 各大學의 敎授나 各研究所의 前任 研究員을 拔擢하는것이 아니라 自體 養成과 海外에서 工夫를 마치고 돌아오는 사람으로 充當하였다는 것이다. 이것은 他機關으로 부터의 重要한 人材의 吸收가 그 機關의 活動을 甚히 阻害하기 때문이다. 이렇게 自體에서 養成된 人材는 他機關에도 내보낼수 있게 되었다는 것이다.

이 研究所가 創設된 1945년에는 빌린 작은 建物에 있다가 現在의 새 建物을 Nehru 首相의 參席裡에 竣工한것은 1962年 1月이며 創設된지 16

年半만의 일이다.

Bhabha 原子力研究所

Tata 基礎研究所를 創設하고 成長시킨 方法은 모든 原子力 計劃에도 適用되어 巨大하고 훌륭한 Bhabha 原子力研究所의 建設과 人員의 充員도 마찬가지로 方法으로 進行되었다.

原子力研究所를 新設함에 있어서 첫째로 하여야 할일이 電子計測機器의 設計와 組立이었다. 이것이 없이는 原子力에 관한 일이 不可能하기 때문이다. 勿論 모든 機器를 先進外國에서 輸入해다 쓰려면 사오면 되겠지만 이것들을 自己들이 만들어서 研究를 할려고 했기 때문이다. 그리하여 어느 研究室에 가나 自己들이 만들어서 使用하는 電子計測機器를 흔히 볼수있다. 이런 理由로 物理學研究室과 電子工學研究室이 第一 먼저 新設되었다. 電子工學研究室의 人員은 1,300名 以上에 이르렀으며 이것은 電子工學界에 있어서 全國적으로 가장 크고 강한 研究 開發團인 것이다. 現在는 約 600名이 電子工學研究室에서 일하고 있는데 다른 研究室에서 電子計測機器에 關聯된 일을하고 있는 사람들을 합치면 現在도 近 1000名은 되는것 같다.

電子工學研究室(Electronics Division)은 Nuclear Devices Instrument and Systems Section, Solid State Electronics and Nuclear Data Handling Section, Radioactivity Standards Section, Semiconductor and Microwave Technical Section, Test Equipment and Display Systems Section, Analogue and Digital Computer Section, Control System and Engineering Section 等の 各 Section 과 Glass Shop 및 Work Shop 가 있다. 各 Section 은 數個의 group 로 되어 있으며 내가있는 Nuclear Devices Instrument and Systems Section 은 約 60名 이 5個 group 로 노나져서 研究를 하고있다. 工作室은 各 研究室 마다 있는데 電子工學研究室의 工作室이 가장 크며 이 외에 中央工作室이 있다

現在 Bhabha 原子力研究所에는 約 10,000名이 일하고 있어서 國內에서 가장 큰 科學研究所인 同時에 印度의 希望인 것이다. 主 目標은 모

든 科學分野에서 技術이 國內에서 可能하도록 할과 同時에 앞으로의 일을 爲하여 人員의 養成을 하는 것이다. 即 모든 科學機器를 國產化하자는 것이며 indigenous란 말이 흔히 使用되고 있다. 그리하여 海外 技術援助없이 工業計劃을 遂行하자는 것이다.

研究用原子爐建設

1955년에 熱出力 1,000 kw 의 swimming pool 型의 原子爐計劃이 樹立되어 原子爐 設計가 國內 科學者와 技術者들에 依하여 約 一年間에 걸쳐서 進行되었다. 단지 濃縮 우라늄 燃料만 英國에서 供給받았다. 原子爐는 1956年 8月 4日 臨界 狀態에 達했다. 이 當時에 英國과 佛蘭西를 除外한 거의 모든 歐羅巴 國家들은 그들의 첫 原子爐를 美國에서 購入하였던것이다. 이 原子爐의 成功의인 竣功은 모든 職員에게 큰 自信을 갖게 하였던것이다. 이 原子爐의 制禦裝置는 電子工學研究室에서 擔當하였으며 Tata 基礎研究所의 第二次 大戰時의 낡은 舊屋에서 만들어졌으며 19年에 오버홀, 整備 및 修理를 할때까지 4年동안 아무 事故없이 運轉되었다. 이때에 原子爐制禦研究室에서 새로 만든은 向上된 制禦裝置를 新設하였던 것이다.

將來의 原子力發電原子爐의 設計를 하기 爲한 實驗을 할수있는 原子爐의 適當한 設計를 物色하고 있을때에 캐나다政府로부터 NRX 型 原子爐를 Colombo 計劃에 依하여 Bombay 에 設置해줄 것을 提業받았다. 이 原子爐는 自然우라늄을 燃料로하고 減速材(moderator)로 重水를 使用하고 反射體(reflector)로 graphite 를 使用하여 熱出力 40,000 kw 를 낼수있는 重水爐이고 우라늄을 비롯한 thorium 等の 核 燃料 物質의 埋藏量이 大端히 豐富한 印度의 實情에 適當한 原子爐이다. 이러한 寬大한 캐나다 政府의 提案을 받아 드리기로한 CIR(Canada India Reactor) 原子爐는 캐나다의 Chalk River 에 있는 NRX 型 原子爐와 거의 똑같은 것이고 이것에 몇가지 附加施設이 加해진 것이다. 其中 가장 重要한것은 一次 冷却水는 閉回路(closed loop circuit)를 이루고 있고 이것을

二次的으로 海水로 冷却시키게 되어있는 點과 原子發電에 必要한 試驗施設과 資材를 實驗할수있고 thorium을 原子爐內에서 쪼여서 우라늄 233을 生産하는 施設이다. 이 우라늄 233은 印度에서 開發하려고하는 高速增殖原子爐(Fast Breeder Reactor)의 燃料로 必要한것이다. 이 CIR 原子爐의 建設에 必要한 모든 資材는 캐나다로부터 왔으며 建設責任은 캐나다에 있었지만 印度側 職員과 共同으로 建設하였다. 이 事業이 決定되자 캐나다 政府는 40名の 科學者와 技術者를 即時 캐나다의 Chalk River로 訓練을 爲하여 派遣해 줄것을 要請하였으며 이들은 歸國하여 다른 要員들과 함께 原子爐의 建設에 參與하였던것이다.

이 CIR 原子爐에 使用할 自然 우라늄으로된 燃料은 印度에서 만든것을 使用하기로 되어있어서 印度產 monazite와 다른 資源으로부터 核燃料로 利用할수있는 純粹한 우라늄 金屬을 만드는 工場이 세워졌으며 이 우라늄 金屬으로부터 完成된 燃料을 生産할 또 다른 工場이 세워졌다. 原子爐를 試運轉하는동안에 무슨 困難이 생기면 첫 번째의 燃料의 半은 캐나다것을 使用하고 나머지 半은 印度것을 使用하여 困難의 原因이 燃料에서인지 다른곳에서인지를 糾明하기로 하였다. 實地로 試運轉을 始作하여 全出力까지 내는 동안에 많은 困難이 있어서 前述한대로 印度產 燃料을 半과 캐나다產 燃料을 半씩 裝置하였으나 困難의 原因이 燃料에 있지않았다고한다.

이 CIR 原子爐는 1960年 7月 10日에 臨界狀態에 達했으며 여러가지 實驗과 함께 放射線 同位元素를 生産하여 國內外에 供給하고있다.

또 하나의 研究用 原子爐인 ZERLINA는 첫 번째 研究用 原子爐인 熱出力 1,000 kw의 ASP-ARA와 두 번째 研究用 原子爐인 熱出力 40,000 kw의 CIR 原子爐에 이은 세 번째의 研究用 原子爐이다. 이 ZERLINA 原子爐는 1961年 1月 4日에 臨界狀態에 到達하였다. 이름이 指摘하듯이 이 原子爐는 核燃料 研究와 새로운 原子爐裝置의 研究에 利用할수 있는 零 에너지 原子爐(zeroenergy reactor)이다. 이 原子爐는 全然 Bhabha 原子力 研究所의 科學者와 技術者들에 依하여 設計되고 建設된것이다. 이 原子爐는 最大出力이 100w

로 出力이 大端히 낮은것으로서 核燃料의 配置를 마음대로 할수있다. 燃料은 主로 우라늄과 減速材로 重水를 利用하여 實驗하게 되어있다.

核燃料生産工場

우라늄 金屬工場은 1956年 5月에 建設하는 것이 決定되었으며 1957年 12月에 着工되었다. 이 工場은 完全히 印度의 科學者와 技術者에 依하여 設計되었고 約 一年間 걸려서 竣工되었고 1959年 1月에 核燃料로 利用할수있는 純粹한 우라늄의 첫 鑄塊(ingot)가 生産되었다. 마찬가지로 核燃料製造施設도 印度의 科學者와 技術者에 依하여 設計되고 建設되었으며 1959年 6月에 첫 核燃料가 生産되었다. 當時 世界的으로 約 6個國만이 自己들의 必要한 燃料을 生産할수 있었든 것이다.

이렇게해서 生産된 核燃料은 Bhabha 原子力 研究所에 施設된 研究用 原子爐 CIR에 使用될것이며 더 規模를 擴張하여 Rajasthan과 Madras에 建設되는 電氣出力이 各各 40萬 kw인 原子力發展所에 供給될 것이다.

Plutonium은 自然界의 物質로서는 存在하지않고 우라늄 238이 原子爐內에서 中性子를 吸收하고 二回の 繼續인 beta 崩壞를 함으로서 이루어진다. 이것은 처음에는 核武器로서만 使用되었지만 高速增殖原子爐의 燃料로도 쓰일수있다. 그리하여 原子爐에서 使用된 燃料을 處理해서 plutonium을 抽出해내는 工場計劃이 이루어져서 每年 20內至 30톤의 使用한 燃料을 處理할수있는 工場을 印度의 科學者와 技術者의 손으로 Bhabha 原子力 研究所에 세우기로 해서 1964년에 稼動하기 始作하였다.

電子機器工場

이미 Bhabha 原子力 研究所의 電子工學 研究室에 關하여 이야기하였다. 여기서 開發된 核電子計測機器를 生産하기爲하여 Hyderabad에 電子機器工場(Electronics Corporation of India)을 세워서 生産하고있다. 여기서는 核電子計測機器 以外에도 原子爐의 制禦裝置를 비롯하여 一般工場에서 아직 生産하지않는 電子部品과 oscilloscope를

비롯한 電子機器도 生産하고있다. 한가지 特記할 點은 一般工場에서 外國과의 技術提携로 生産되고있는 電子部品같은것은 흔히 商業的等級(commercial grade)의 것이어서 原子力用이나 國防用的 더 嚴格한 規格에 맞지않는데 比하여 Bhabha 原子力研究所의 電子工學研究室에서 研究開發되어 이 工場에서 生産되는것은 이러한 嚴格한 規格에 맞는다는것이다.

研究員訓練所

Bhabha 原子力研究所에는 訓練所(Training School)가 있어서 科學과 技術系의 大學 또는 大學院 卒業者를 每年 約 150名씩 뽑아서 一年間 敎育을시켜 原子力分野에서 研究員으로 일을하게하고있다. 이렇게하여 科學과 技術을 開發하여 나가는것을 그들은 growing science 라고 부르고 있다. 이 方法은 全的으로 先進外國의 技術協助로 經濟建設을 하는것보다 大端히 더디다는것도 알고있다. 그러나 技術決助단으로는 科學과 技術의 自立나 아가서는 經濟的 自立이 不可能하다는 것이다.

原子力發電所建設

原子力分野에서는 強力한 科學과 技術的인 基礎가 이미 確立되어서 海外로 부터의 技術協助를 速히 끝낼수 있다는 것이다. 前述했드시 印度는 이미 1955년에 自己의 科學과 技術陣에 依한 原子爐建設의 經驗을 가지고있다. 原子力發電所를 建設하는데있어서 이러한 建設經驗을 基礎로 하여 自體의 原子力發電所를 建設할것인지 아니면 先進國과의 技術協助로 이미 證明된 向上된 設計를 利用하여 時間을 節約하고 나아가서 原子力發展의 經濟性을 國民에게 보일것인가 하는 問題를 가지고 原子力委員會에서 熟考한 끝에 後者를 擇하게 되어 1962년에 첫번째의 原子力發電所를 美國과의 技術協助로 濃縮 우라늄을 燃料로한 30萬 kw의 BWR型 原子力發電所를 Tarapur 에 建設하기 始作하였으며 이것은 1969년에 竣了되었다. 이러한 큰 規模의 原子力發電所를 建設하려면 첫 段階로 5千內至 5萬 kw의 原

型爐(prototype reactor)를 設計하고 建設하여야 하는데 이것을 하기 爲하여는 4年은 걸리므로 先進國과의 技術協助로 단번에 大型 原子力發電所를 建設함으로써 小型의 原型爐를 開發하는데 必要한 四年을 節約한것이다.

첫번째의 原子力發電所가 이와같이 濃縮 우라늄을 燃料로한것이지만 印度는 豊富히 保有하고 있는 核燃料資源을 가장 効率的으로 利用하기 爲하여 캐나다에서 開發된 自然우라늄을 燃料로하고 減速材와 冷却材로 重水를 利用하는 原子爐의 開發에 重點을두고 있으며 나아가서는 長期的인 眼目으로 高速增殖原子爐의 開發을 計劃하고있다

두번째의 原子力發電所는 캐나다와의 共同調査로 캐나다의 Candu型 重水素가 가장 適合하다는 結論을 얻어 Rajasthan에 40萬 kw의 自然 우라늄과 重水를 利用한 原子力發電所를 建設하기로 1963年 12월에 合意를 보고 1964년에 着工되었다 이미 같은型인 CIR 研究原子爐의 建設經驗이 있기때문에 이 原子力發電所의 建設은 原子力廳의 責任으로 캐나다로 부터는 詳細한 技術情報를 비롯한 支援만 받고 있는것이다. 세번째의 原子力發電所는 같은 型의 같은 크기의것이 Madras에 建設되며 이것은 印度의 科學者와 技術者만에 依해서 建設되고있다.

이와같이 原子力發電所의 建設이 漸次的으로 國內의 科學者와 技術에 依하여 이루어짐에 따라 部屬의 國產化도 漸次로 增加하고있다. Rajasthan 原子力發電所의 一號產는 外換이 60%이고 二號產는 40%이며 Madras 原子力發電所는 20%로 期待하고있다. 이러한 國內全般의 科學과 技術陳의 協助로 이루어지는 것이기때문에 原子力의 科學과 技術의 發展이 이 分野에서만 그치는 것이 아니라 國內 全般의 科學과 技術의 發展을 期할수있다는것을 意味한다.

1969년에 15名으로된 科學者와 技術者로된 高速增殖原子爐 研究團이 佛蘭西에 가서 一年半 豫定으로 訓練을 받고있으며 이 中에는 電子工學 技術者가 二名 包含되어있다. 그리고 Madras에 原子爐研究所를 세워서 原子力發電所의 設計와 建設에 主力을 하게되어있다. 印度는 우라늄 233으로 轉換시킬수있는 大端히 豊富한 thorium의

資源을 가지고 있어서 plutonium 을 核燃料로 하고 thorium 을 增殖物質로 한 液體金屬高速增殖原子爐(liquid metal fast breeder reactor, or molten salt fast breeder reactor)의 開發을 計劃하고있다. 先進外國과의 技術協助의 代價로 大型 原子力發電所를 建設하는데 四年 內至 五年을 얻게된 印度는 앞으로 더 以上の 技術協助없이 같은 크기의 原子力發電所를 自力으로 建設하겠 다는 것이다

印度의 核燃料資源

印度의 核燃料 資源中 重要한것을 살펴보면 南部에 位置한 Kerala 州의 海邊과 그 이웃인 Madras 州의 西南海岸의 검은 모래는 ilmenite 모래에 包含되어있는 monazite 와 여기보다 더 埋藏量이 많은 Bihar 地方에 埋藏되어있는 monazite 는 thorium 의 含有量이 8 內至 9%로 世界 最大의 含有量이고 1% 程度의 우라늄을 包含하고있다. 이 monazite 의 埋藏量은 5百萬톤으로 推算하고있으며 thorium 은 50萬톤 程度로 推算하고 있다.

그리고 이 모래 中에는 titanium 의 含有量이 60%인 酸化 titanium 으로 되어있는 rutile 과 zirconium 의 珪酸鹽(silicate)인 zircon 等の 貴重한 鑛物이 包含되어 있으며 漸漸 需要가 늘어나고 있는 cerium 을 비롯한 稀土類金屬이 含有되어있다. 이들의 資源은 中央政府과 地方政府가 共同으로 開發하고있다.

結 言

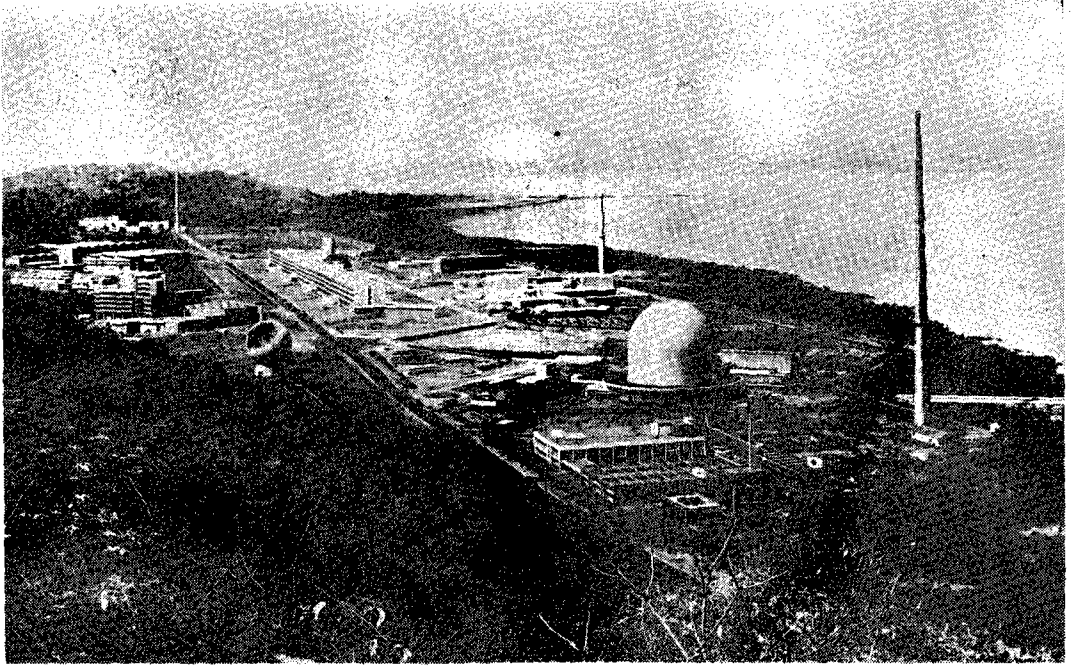
Bhabha 原子力研究所는 처음에 Atomic Bnergy

Establishment Trombay 로 發足하였다. Tata 基礎研究所長: Bhabha 博士는 原子力委員長도 兼任하게되었다. 博士가 數年前에 Vienna 로 가는 途中 飛行產事故로 死亡한 後에 原子力研究所의 名稱이 現在의 Bhabha 原子力研究所로 된 것이다.

Digital, computer, 卓上用 計算器, oscilloscope, multichannel analyzer, scaler 等 많은 電子產器를 設計製作하였으며 研究用 原子爐를 비롯하여 核燃料工場等 여러가지 原子力施設을 自己의 科學者와 技術者에 依하여 設計하고 建設하였다고 하였는데 이것을 하기爲하여는 活潑한 技術情報活動도 必要하며 아직 國內에서 調達할수없는 部屬같은것은 海外로부터 輸入하였다는 것이다. 電子產器의 研究開發도 처음에는 輸入한 部品을 使用하다가 지금은 하나 하나 可能한대로 國產部品으로 代置하고있다. 그리하여 俸庫에는 輸入한 部品이 山積되어있다.

研究所間의 關係를 보면 Tata 基礎研究所와 Bhabha 原子力研究所가 아주 가까운 因緣을 가지고 始作하였다고는 하지만 每日 二回式 定期的으로 빠스가 往來하고 圖書館같은것도 自由스럽게 서로 利用할수있게 되어있다.

Bhabha 博士는 갖지만 그의 精神은 지금도 그대로 살아서 그가 生存時에 이룩하고 設計하여 논대로 모든 事業이 進行되고있다. 많은 사람이 가난속에서 苦生을 하고있지만 그래도 科學과 技術을 하루速히 發展시켜 밝은 앞날을 맞이 하자는게 그들의 信念이다.



Bhabha 原子力研究所

Dome 으로 된것이 熟出力 43萬 kw 의 CIR 原子爐.

道路左側에 보이는것이 Central Complex 및 Engineering Building 들.

道路右側에 4層으로된 긴 研究棟이 Modular Laboratory 로 길이는 600m, 海邊가에
높은 廢棄物굴뚝과 더불어 보이는것이 Radiation Laboratory.

멀리보이는것이 pentonium 工場.