

## 美國의 原子力發電開發의 現況과 展望

### 〈그 問題點과 앞으로의 方向을 解剖한다〉

〔머리말〕 美國의 原子力産業界는 只今 空前의 好景氣에 醉하고 있다. 이 以上의 發注에 對하여서는 納期의 責任을 질 수 없다고 말하고 있을 程度이다. 原子力産業과 같은 大産業의 生産能力이란 簡單히 增強할 수 없는 것이기 때문에 當分間은 現在 이미 受注한 量을 消化하는데도 能力을 最大限으로 發揮하여야 될 形便이어서 新規 發注에는 應하기 어려운 狀態가 當分間 持續될 것으로 보인다. 또한 假令 受注한다고 하더라도 6年後가 아니면 發電所로서 完成되지 않는다. 이리하여 美國의 民營電力會社 中には 原子力發電所 建設計劃을 拋棄하고 다시 火力으로 轉換하는 例까지 나오고 있다.

以下는 이와 같은 美國 原子力産業界의 現況을 分析하고 다음 目標인 增殖爐開發을 어떻게 推進할 것인가를 考察한 月刊誌 Fortune 1967年 3月號 記事의 全譯이다. [事務局]

美國에서의 原子力發電의 開發은 1966년에 이르러 突然이라고 말하여도 좋을 程度로 急速하게 그리고 飛躍적으로 上昇하였다. 各 電力會社의 1966年 年中의 發注量은 20億弗 相當額을 突破하였는데 이것은 同年間에 發注된 總發電設備의 거의 切半에 該當하는 것이다.

이와 같은 急激한 發注量의 增加는 1965年 後半에 나타난 豫期치 않던 부흥傾向의 擡頭를 그대로 引繼한 것이었는데 電力業界 自身도 이와 같은 너무나 急激한 伸長에 놀랐을 程度이었다. 또한 原子力委員會(AEC)도 將來의 原子力發電의 成長豫測의 改正이 不可避하다고 느꼈을 程度로 豫想 밖의 일이었다.

只今으로부터 6年後 即 現在 發注되고 있는 모든 原子力發電所가 運轉에 들어갈 時期가 되면 美國의 電力界는 3,000萬Kw에 가까운 原子力發電設備를 所有하게 될 것인데 이것은 1962년에 AEC가 豫測한 數字의 約 3배에 相當하는 것이다. AEC는 現在에 와서는 1980년까지에는 8,000萬Kw乃至 1億1千萬Kw의 原子力發電所가 建設될 것으로 確信하게끔 되었는데 이것은 1962년의 AEC의 豫測值의 2倍 以上에 相當한다.

美國最大의 製作會社인 GE는 처음에는 1980년까지 核分裂에 依한 에너지가 電力需要의 18%를 充當하게 될 것으로 豫測한 바 있는데 現在는 이것을 改正하여 30%로 보고 있다.

이러한 原子力의 人氣의 急激한 上昇에는 그럴만한 相當한 經濟的인 理由가 뒷받침이 되어 있다. 原子力發電原價는 最近에 急激한 低下傾向을 보이고 있는데 그 理由는 原子爐 自體가 最近에 크게 改善되어 왔다는 것과 또 하나는 unit當 容量의 增大에 따라 單位當 建設費가 低廉해지고 있기 때문이다. 電力需要는 確固하게 安定되어 着實히 增加를 繼續하고 있으며 系統의 規模는 더욱더욱 커져서 電氣事業者도 보다큰 發電所를 必要로 하게 되었다.

現在 發注되고 있는 原子力發電所 中には 化石燃料發電所로서도 일찌기 美國內에서 建設된 일이 없는 大規模의 것도 包含되어 있다. Chicago 近方에 建設중인 Commonwealth Edison會社의 Dresden 第2號는 1965년에 發注된 것인데 이것을 第1號와 比較하면 코스트의 低下傾向을 쉽게 알 수 있는 좋은 例가 된다. Dresden 第1號는 꼭 10年前에 發注된 것인데 新設될 第2號는 第1號에 比하여 約 20% 程度 밖에는 物理的인 寸수가 더 크지 않지만 約 切

半의 코스트로 4배의 電力량을 生産하게 될 것이다.

發電原價의 低下傾向으로 因하여 美國內의 많은 地域에서 原子力發電이 石炭이나 石油에 依한 火力發電보다도 有利하게 되었다. 이것을 決定的으로 만든 것은 TVA가 GE에 對하여 約 2.5億弗의 發電을 決心하였다는 事實이다. TVA의 이 215萬Kw의 原子力發電所가 美國內에서도 가장 石炭火力이 低廉한 産炭地의 中心部에 建設된다는 것은 매우 印象의인 일이었다. TVA는 가장 低廉한 石炭火力發電보다도 原子力發電이 18%나 더 有利하다고 發表한 바 있다.

이와 같은 原子力時代가 到來함에 따라서 産業界의 構成에도 基本的인 變化가 일어나기 始作하고 있다. 1966년에는 原子力發電所의 建設에 對한 民營電力會社의 投資가 처음으로 AEC의 그것을 上回하였다. 即 民營電力會社에 依한 投資는 一躍 1億6,500萬弗로 上昇하여 AEC에 依한 4,300萬弗의 거의 4배가 되었다. 그런데 二大製作會社인 GE와 WH가 이 注文의 거의 全部를 受注하고 있다. 現在 GE는 TVA의 計劃과 Commonwealth Edison 會社의 第3號機를 包含하여 10個 發電所를 受注하고 있으며 WH는 Virginia電力會社의 2個 發電機를 包含하여 6個의 原子爐를 受注하고 있다. 이 밖에도 兩社는 外國으로부터 3個의 發電爐를 受注하고 있다.

그러나 한편 1966년에는 이 二大製作會社가 다른 2個의 製作會社로부터 激烈한 挑戰을 받은 例이기도 하였다. 即 Babcock & Wilcox 會社와 Combustion Engineering 會社의 進出인데 前者는 3個 發電所를 後者는 2個 發電所를 受注하였다. 이 兩社는 모두 原子力界에서 主導의 地位를 確保하고자 必死의 努力을 하였다. 이 兩社의 設計에 依한 原子力系統은 一般的으로 化石燃料火力用 보일러에 그대로 代置할 수 있는 型의 것이었다.

以上 4社의 激烈한 競爭에 다시 General Atomics 會社의 原子力部門과 North American Aviation 會社의 原子力國際部門의 兩者가 뛰어들어 이를 뒤쫓고 있는 樣相이 되었다. 이 兩社도 새로운 爐型을 不斷히 研究하고 있어 機會만 있으면 4社를 앞지르려는 努力을 繼續하고 있다.

1980년까지에는 아마도 原子爐의 販賣高는 殺到하는 核燃料의 注文에 뒤떨어지게 될 것으로 보인다.

標準인 75萬Kw의 原子力發電設備는 年間 約 900萬弗 相當의 核燃料를 消費한다. 核燃料業界는 이미 昨年의 旺盛한 原子爐의 發電을 敏感하게 感知하고 있다. 1965年 末 現在 우란産業은 1961年의 最盛期에 있어서의 產出量의 60% 程度 밖에는 生産하고 있지 않았다. 核燃料의 唯一한 重要한 購入者였던 AEC는 우란의 이 以上の 需要는 없을 것으로 보고 그 注文을 制限하기 始作하고 있었다. 若干의 우란鑛山이며 精鍊所는 閉鎖되고 새로운 埋藏量의 採鑛도 거의 中斷되어 있었다. 우란生産業者는 1970年으로 豫定되어 있는 AEC의 購買終結에 따르는 需要의 減退期를 어떻게 嵩고 나가느냐를 危懼하고 있는 實情이었다.

그러나 現在에 와서는 이러한 생각은 根本적으로 一變하고 있다. 新規로 發電되는 原子爐는 AEC에 對한 販賣의 低下를 相殺하고도 남음이 있을 程度로 多量의 核燃料가 必要함을 呼訴하고 있다. 1966年中에 Anaconda, Climax Uranium, Cotter Corp., Utah Construction, Kerr-McGee 等の 우란生産業者는 모두 民營電力會社로부터 우란燃料의 注文을 받고 있다. 이들 우란生産業者들은 아마도 앞으로 3年間に 그 採鑛活動을 現在의 3倍 以上으로 增強하게 될 것이다. 그리고 AEC는 同 生産業者들이 앞으로 1980년까지에 우란資源의 採鑛에만 1.5億乃至 2.0億弗의 費用을 支出하게 되리라고 豫測하고 있다.

美國에서는 이러한 우란의 採鑛, 精鍊 等の 事業은 언제나 私企業으로서 營爲되어 온데 對하여 核燃料에 關聯된 서비스業務 例컨대 우란의 濃縮, 燃料爐心의 再生 等の 事業은 政府가 이것을 하여 왔다. 그러나 AEC는 現在 이러한 核燃料 關係 서비스業務를 民間企業育成을 爲하여 民營會社에 委託시킬 方針을 세우고 있다. 그 一例로서 昨년에 W.R. Grace가 80%를 出資하고 있는 Nuclear Fuel Services가 New York州 Buffalo 近處에 最初의 民間所有 再處理工場을 開業하였다. 그리고 이 工場의 運營을 助成하기 爲하여 AEC는 이 會社에 對하여 年間 125日間の 操業維持에 充分할만큼의 政府業務의 5年間 委讓契約을 맺었다.

그러나 이와 같이 活氣있는 原子爐 및 核燃料의 發電의 增加에도 不拘하고 原子力産業界는 아직도 年輪이 어리기 때문에 非能率의인 面이 많다. 原子力에 依한 電力은 時間의 經過와 競爭의 增大에 따

라 더욱더욱 低廉한 것이 되어 갈 것으로 보인다. 그렇지만 産業의 前途에 가로놓여 있는 數 많은 複雜하고 困難한 問題가 그다지 쉽게 克服될 수 있으리라고는 勿論 생각할 수 없다. 以下에서 이미 表面化하고 있는 몇가지 問題에 關하여 考察하기로 한다.

× × ×

上述한 바와 같은 놀라운 發注의 激增에도 不拘하고 이 原子爐들은 아직도 原子力産業으로서의 初期段階에 不過하다고 말할 수 있다. 다치 Lindbergh가 처음으로 大西洋을 橫斷하여 프랑스에 着陸했을 당시의 航空機製造業界와 恰似하다고 보면 틀림없다. 다만 그 당시와 다른 點은 近代技術은 달력을 短縮시키는 힘을 가지고 있다는 事實이다. 即 그 進歩는 매우 速度가 빠르다. 그것은 마치도 試驗中에 있는 jet engine과도 같은 것이며 超音速飛行의 스케치를 그리고 있는 것에 比할 수도 있다.

現在 이미 注目할만한 새로운 發電方式의 原子爐가 2個나 設計되어 小規模의 試驗用 plant에서 歐洲 7個國의 政府機關과 美國의 GE, WH, North American Aviation, General Dynamics 등의 諸社가 協力하여 特殊한 研究를 銳意 推進하고 있다. 아마도 10年 以內에 이 新型 原子爐의 實用規模의 發電所를 選轉할 수 있게 될 것으로 보이며 1980년까지에는 이러한 特殊型式의 發電所가 여러個 營業運轉을 開始할 可能性이 있다.

今日の 原子爐는 石炭이나 石油보다도 低廉한 코스트로 熱을 發生할 수 있기 때문에 舊來의 방식에 代身하여 徐徐히 轉換이 이루어지고 있는 것이다. 그런데 明日의 原子爐는 아마도 革命的인 器具가 될 것이다. 이 中の 어떤 것은 增殖爐라고 불리는 데 이것은 自身이 消費한 것보다도 더 많은 核燃料을 만들어내는 原子爐이다. 이러한 일은 옛날에 鍊金師가 鉛을 金으로 變化시키려고 努力한 것과 마찬가지로 어딘가 自然의 法則에 抵抗하는 일 같기도 생각될지 모른다. 그러나 이 增殖爐는 매우 低廉한 코스트로 大量의 에너지供給이 可能하기 때문에 모든 産業에 連鎖的인 效果를 미치게 될 것이며 또한 食物을 集積하고 住宅을 建立하는 努力에도 크게 貢獻하게 될 것이다. 科學者나 技術者들은 將來에는 아프리카의 氣象을 人工的으로 調節하고 北極을 따뜻하게 만드는 方法까지도 發見할 수 있을 것으로 보고 熱心히 研究를 繼續하고 있는 것이다.

그러나 將來로 通하는 길은 決코 直線코오스는 아닌 것이며 低廉한 코스트의 에너지로 向하는 行程에도 數 많은 障礙며 여러가지 難問題가 도사리고 있는 것이다. 當然히 解決되어야만 될 難問題 中の 어떤 것들은 人類가 일찌기 經驗한 바 없는 새로운 技術을 어떻게 하여 터득하느냐 하는데 歸着될 것이다.

增殖爐라는 것은 科學의 專門用語로 말하면 「完全無缺의 原理」에 基礎를 둔 것이라고 하는데 한편 어떤 原子爐製造業者는 「機械技術者를 괴롭히는 惡夢」이라고도 말하고 있다. 예를 들면 새로운 構想에 依한 原子爐 中の 어떤 것은 液體나토륨의 回路를 가지고 있는데 이 性味急한 材料는 恰치는대로 衝突하고 特히 水分에 接觸하면 瞬間的으로 타오르는 까다로운 性質을 가지고 있다. 그러나 어려운 問題이기는 하지만 增殖爐의 製作이 不可能하겠다고 말하는 사람은 아직 아무도 없는 것이다. 오히려 오늘날에 와서는 原子力産業界가 나가는 方向은 이 目標로 集中되어 있는 것이 오늘날의 實情인 것이다. 더욱이 이것은 相當히 時急을 要하며 結局은 마지막에는 언제나 資金의 問題로 歸着되는 것이다.

어떠한 技術部門을 어느 研究機關에 擔當시킬 것인가? 各部門의 開發速度를 어떻게 할 것인가? 그리고 AEC와 民間機關에 對하여 20億弗의 研究開發費를 어떻게 配分할 것인가? 이러한 問題에 關하여서는 美國의 原子爐産業界에서 主導的인 立場에 있는 GE와 WH에 對하여서까지도 아직은 確固한 解答이 주어지지 않고 있다. 事實上 競争的인 關係에 있는 業界에서도 이러한 問題는 아직도 深刻한 論議의 渦中에서 喞매고 있는 것이다. AEC 自體도 現狀으로는 5個의 競爭者에게 파이 하나를 얹게 다섯個로 等分하는 道理 밖에는 없지 않을까 하는 見解를 表明하고 있다.

原子力發電所는 非常히 高度의 爐를 가진 發電所라고 말할 수 있다. 그것은 우란으로부터 熱을 얻어서 물을 蒸氣로 만든다. 爐 以外의 것은 在來의 設備 即 터빈, 發電機, 開閉器 등으로 構成되어 있다.

核燃料은 우란鑛으로서 採鑛되고 精製되어  $U_3O_8$ 라는 酸化物이 되는데 이것은 普通 yellow cake라고 불리고 있으며 1屯의 우란原鑛으로부터 平均 5와운드의 yellow cake가 生産된다. 이 精製된 우란의 約 0.7%는 分裂性의 U-235이며 나머지는 非分

裂性の U-238이다. U-235는 中性子の 突進을 받으면 分裂하여 熱을 發生하고 다른 中性子を 放出하는데 이것이 連鎖反應을 持續한다. U-238은 分裂하지 않고 오히려 이것을 吸收하여 플루토늄239로 變換된다.

若干의 原子爐 例컨대 英國에서 發達하고 있는 原子爐는 燃料로서 天然우란을 使用한다. 그러나 美國에 있어서는 이 精製된 우란礦은 6弗化우란으로 變換되어 複雜한 가스擴散過程을 거쳐 0.7%의 U-235의 比率를 約 3%線까지 높이고 있다. 이 濃縮된 氣體는 固體로 變換되어 燃料要素로서 成型加工된 다음 使用되고 있다. 美國의 경우는 이러한 濃縮 때문에 燃料價格은 上昇하지만 그 代身 發電所의 建設費는 싸진다. 濃縮하지 않은 燃料을 使用하는 경우에는 發電所의 規模가 커지게 된다.

오늘날 熱中性子爐로서 發電所에서 使用되고 있는 原子爐는 減速材에 依하여 中性子を 熱速度까지 떨어뜨려서 使用하고 있기 때문에 이러한 이름이 붙었다. 熱速度란 普通의 溫度에서 움직이는 가스分子의 速度를 말한다. 減速材로서는 여러가지 材料가 使用되는데 美國에서는 普通의 물을 冷却材까지 兼하여 使用하고 있다. 이것이 바로 輕水爐라는 이름의 由來이다. 初期段階의 輕水技術의 開發은 主로 海軍의 潛水艦計劃의 一環으로 推進되어 왔다.

動力爐 設計의 接近法으로서 輕水爐에 關하여서는 두가지의 相異한 方法이 採擇되어 왔다. 하나는 GE가 開發한 沸騰水型으로서 冷却材 自身이 蒸氣가 되는 것이며 또 하나는 WH가 開發한 加壓水型으로서 分離된 第2 loop가 있어 熱交換器에 依하여 蒸氣를 發生하는 것이다. 이 두가지 型은 比較的 容易하게 開發되어 온 것들이다. 또한 이들은 다른 型의 것보다도 廉價로 建設되고 경우에 따라서는 石炭이나 石油을 燃燒하는 發電所에 比하여도 그다지 비싸지 않다. 오히려 原子爐의 注文의 殺到가 말해 주듯이 輕水爐의 低廉한 燃料費가 美國內의 모든 地域에서 在來型의 火力을 制壓할 基礎를 構築하고 있는 것이 오늘날의 現實인 것 같다.

그러나 輕水爐는 熱效率이 낮기 때문에 連鎖反應으로 發生하는 熱을 最高度로 利用하고 있다고는 볼 수 없다. 即 輕水爐는 400°F 乃至 600°F의 蒸氣를 發生하는데 이것은 化石燃料火力이 達成하고 있는 高能率의 것에 比하면 相當히 低水準에 있는 것이다. 더 正確하게 表現한다면 이 原子爐는 裝荷한

燃料의 保有에너지의 1~2% 밖에는 利用하지 못하고 있는 것이다. 이것은 마치도 巨木을 잘라내어 이쑤시게를 만드는 것과도 같다.

原子爐의 製作者 特히 GE와 WH에서는 輕水爐의 能率을 改善하기 爲하여 最大의 努力을 하고 있는데 兩社가 다같이 蒸氣의 溫度를 높이는 것이 先決問題라고 생각하고 있다. GE는 爐의 一部에서 蒸氣를 過熱하는 것을 考慮中이며 한편 WH는 改良型 輕水爐로서 過熱하지 않고 蒸氣溫度를 1,050°F까지 높이는 設計를 推進하고 있다.

同時에 相當한 額數의 研究開發費가 原子爐製作者 뿐만 아니라 核燃料의 製造業者側에서도 燃料要素의 改善을 爲하여 使用되고 있다. 이러한 研究는 現在 使用中인 原子爐 뿐만 아니라 將來의 改善된 原子爐의 低廉한 運轉費로 充分히 補償될 수 있다. 왜냐하면 이러한 種類의 研究는 直時로 容易하게 爐心의 效率改善에 適用이 可能하기 때문이다. 30年 以上에 걸쳐 發電設備의 償却을 하고 있는 電氣 事業者로서는 그들이 現在 購入하고 있는 原子爐의 運轉費가 해가 감에 따라 改善되고 싸지는 明白한 傾向에 對하여 큰 希望을 가지고 이를 注視하고 있는 것이다.

AEC는 現在 若干 뒤처지고 있는 Combustion Engineering, the General Atomic Division of General Dynamics, the Atomics International Division of North American Aviation 등의 製作者들을 指導하여 熱中性子爐의 第二의 時代를 만들 것으로 보이는 新型轉換爐의 開發을 推進시키고 있다. 新型轉換爐의 多數는 물 以外의 다른 材料를 減速材로 使用하고 普通의 原子爐보다도 더 많은 에너지를 發生하게 될 것이다.

여기에 關하여서는 若干의 考案이 現在 檢討되고 있다. AEC는 現在 Oak Ridge 研究所에서 溶解鹽을 使用한 爐를 運轉하고 있다. Atomics International과 Combustion Engineering의 兩社는 AEC의 研究中에서 重水 unit에 關한 研究를 分擔하여 契約하고 있다. WH는 輕水爐의 blanket를 토륨으로 包圍한 것의 豫備의 研究를 推進하고 있는데 이것은 運轉을 하는 過程에 토륨이 U-233이라는 새로운 燃料로 轉換되어 가는 것이다.

그러나 現在로서는 新型轉換爐의 分野에서는 General Atomics社의 高溫가스 冷却爐가 가장 앞서고 있다. 이것은 出力 40Mw로서 冷却材에 헬륨을

使用하고 있으며 Pennsylvania의 Peach Bottom에서今年부터運轉에 들어가고 있다. 이의建設은 General Atomics社가 맡았으며 Philadelphia 電力會社 外 53社의 電力會社가 共同으로 運轉하고 있다. 來년에는 Public Service Co.가 Colorado州 Fort St. Vrain에 33萬Kw의 것을 着工할 豫定으로 있다. General Atomics社는 AEC를 說得하여 2個의 高溫가스爐計劃에 6,400萬弗을 出資시킴으로써 競爭者의 羨望의 對象이 되었는데 電氣事業者들은 이 計劃에 對하여 7,300萬弗을 出資하고 있다. General Atomics社의 Frederic de Hoffmann氏도 Peach Bottom의 爐는 小容量이지만 萬一에 商業用規模의 것이 만들어지면 輕水爐보다도 低廉하게 될 수 있으며 熱効率도 向上될 것이므로 따라서 燃料費도 싸질 것이라고 主張하고 있다.

新型轉換爐(advanced converter)라는 名稱은 連鎖反應의 副產物로서 比較的 大量的의 플루토늄을 生産할 能力을 가진 原子爐를 말하는 것이다. 輕水爐도 親物質의 U-238을 Pu-239로 轉換하지만 그 轉換率은 겨우 0.5% 程度 밖에 안된다. 即 分裂過程에서 使用되는 U-235의 2個의 原子에 依하여 U-238의 1個의 原子가 플루토늄으로 轉換될 뿐이다. 이에 對하여 新型轉換爐는 理論的으로는 轉換率이 1.0%에 가까우며 Uranium燃料가 燃燒하면 眞時로 플루토늄이 生産되는 것이다.

爐內에 있어서의 이와 같은 플루토늄의 生産은 原子力經濟에 있어 重要的 役割을 차지하고 있다. 플루토늄은 거의 全部가 分裂性的인 것인데 使用하고 난 燃料에서 再生된 플루토늄은 現在 AEC가 一定한 價格으로 買入하고 있다. AEC는 核武器로서 使用할 수 있는 이 分裂性플루토늄을 그만큼 10弗 即 파운드당 45,000弗로 買入하고 있다. 이 副產物의 販賣로써 電氣事業者의 燃料費가 約 5% 節減된다. 그러나 最近에 와서 AEC는 1971년에는 그 買入을 中止할 것이라고 發表하였다.

AEC와 電力業界는 이 플루토늄을 爆彈 以外에 使用하는 것을 研究中에 있다. 電氣事業者는 1980年까지에는 每年 平均 13噸의 플루토늄을 生産하게 될 것으로 豫想되는데 이것은 現在價格으로 約 1.3億弗의 價値가 있다. AEC의 援助로 WH와 GE에서는 分裂性플루토늄을 輕水爐의 燃料로서 使用하는 方法을 研究中이며 General Public Utilities의 Pennsylvania州 Saxton에 있는 試驗用 輕水爐에서

는 플루토늄을 燃料로서 使用하고 있다.

그러나 이 플루토늄은 第3時代의 原子爐가 될 增殖爐에 있어서는 容易하게 經濟적으로 使用할 수 있게 될 것으로 보인다. General Atomics社의 Hoffmann 社長은 增殖爐야말로 이 不安定한 플루토늄의 安息의 場所가 될 것이라고 말하고 있다. 增殖爐는 그 이름이 말하는 바와 같은 魅力을 가지고 있으며 새로운 燃料를 消費하는 것보다도 더 빠른 速度로 生産하는 것이다. 이 轉換率은 1.2%부터 1.6% 程度까지 있는데 反應에 使用한 플루토늄의 2個의 原子가 周圍의 U-238로부터 새로운 3個의 플루토늄原子를 만들어 내는 것이다. 어떤 一定한 期間이 經過하면(아마도 7年 乃至 20年의 幅이 있을 것이다) 電氣事業者는 始初에 買入한 分裂性燃料의 2倍에 該當하는 分量을 獲得하게 되는 計算이 된다.

이것은 아직까지 人類가 開發하지 못하였던 永久稼動性 機械와도 비슷한 것으로 생각되지만 만드시 그렇지도 않다. 增殖爐일지라도 天然우란이 保有하는 에너지의 約 80% 程度 밖에는 利用하지 못하는 것이므로 本質的으로는 Uranium資源의 制約을 받게 된다. 그러나 燃料費는 거의 零에 가깝도록 低下하게 되는 것이다.

現在 研究中인 많은 增殖爐는 高速爐라고 불리는 것으로서 減速材는 使用되지 않으며 中性子는 每時 1,000萬마일 程度의 速度(秒速 約 4,500Km)로 飛回하게 된다. 原理는 어느 程度까지는 누구나 理解할 수 있지만 實地로 高速爐를 建設한다는 것은 정말로 精神이 아찔할만큼 巨創한 일인 것이다.

어떤 科學者는 熱中子爐와 高速爐의 差異는 亞音速과 超音速의 差異와 恰似하다고 말하고 있다. 高速爐는 制御가 매우 難이 든다. 高速爐의 爐心은 普通은 바늘 模樣의 얇은 stainless鋼을 한 다발씩 堅固하게 묶은 것을 操心스럽게 配列한 것인데 輕水爐의 爐心과 比較하여 5倍 以上이나 高價인 것이다. 그리고 燃料인 플루토늄은 熱中子爐의 15分の 1 程度의 스케이스에 高度로 集約되어 있다. 이 集約된 좁은 部分으로부터 多量의 熱을 빼내는 冷却方法 또한 質로 至難의 일인 것이다. 蒸氣며 各種氣體가 冷却材로서 여러모로 研究되었으나 AEC나 많은 製作業者가 모두 結局은 液體金屬나트륨 하나만을 集中的으로 研究하게 되었다. 液體金屬나트륨은 매우 優秀한 熱의 導體인데 反面 取扱이 至極히

困難한 材料로서 大端히 危險한 性質을 가지고 있다. 萬一 조금이라도 酸素에 汚染되면 大部分의 金屬을 腐蝕시켜 버린다. 또한 앞에서 말한 바와 같이 물과 接觸하면 瞬息間에 燃燒해 버린다.

가장 野心的인 計劃이었으나 오늘날까지도 成功을 거두지 못하고 있는 Enrico Fermi 高速增殖爐는 出力 65Mw로서 Detroit市 南方 30마일의 Erie湖畔에 建設되었다. 이 發電所는 若干의 製作業者와 民營電力會社가 共同으로 非營利事業으로서 建設한 것이었다. Detroit Edison電力會社 會長 Walker Cisler氏가 이 그들의 最高責任者이었다.

數 많은 技術的인 困難과 隣近 地方民의 神經質의 이며 合法的인 妨害에 逢着하여 建設에 7년이란 期間이 걸렸으며 建設費도 當初豫算의 70% 以上을 超過한 1.16億弗이 들었다. 이 Fermi爐는 1963년에 臨界에 到達하였으나 1966年 8월에 이르기까지 發電을 하지 못하였으며 發電을 開始한지 2個月後에는 明白히 若干의 燃料要素가 溶融하고 나뉠름이 放射性이 되어 모든 作業이 危險해졌기 때문에 運轉이 中止되었다. 關係 技術者들은 크게 落膽하여 現在 放射性나뉠름 中에서 燃料棒을 빼내는 作業을 繼續하고 있다.

GE社만은 獨自的으로 現在 酸化物燃料의 高速試驗爐를 建設中에 있다. AEC는 이에 對하여 그 費用으로서 約 1,300萬弗을 낼 것을 約束하고 있고 2,500萬弗은 GE를 爲始하여 17社의 電氣事業者그룹, Euratom 및 西獨政府의 Karlsruhe研究所의 出資로 充當하기로 되어 있다. Arkansas州 Fayetteville에 建設中인 이 計劃은 1968년에 竣工될 豫定이다.

AEC에서는 現在 增殖爐의 開發을 最優先的으로 考慮하고 있다고는 말하고 있지만 實際의 豫定表에서는 반드시 分明히 優先的으로 取扱하고 있는 것 같지는 않다. 實際에 있어서는 아마도 1970年代末까지에나 適當한 規模의 實證爐가 運轉에 들어갈 수 있을 것으로 展望하고 있는 것 같은데 AEC 內部의 一部 사람들은 이래가지고는 너무 늦다는 見解를 가지고 있다.

現在 GE와 WH 그리고 範圍는 좁지만 Babcock & Wilcox社 및 Combustion Engineering社도 일찍이 없었던 輕水爐의 大量注文에 精神을 못차리고 있다. 이들 會社의 技術者들은 많지 않은 經驗을 現在 注文받고 있는 大容量發電所에 擴大 應用하는

일에 熱中하고 있다. 그래도 1970年代의 中間까지에 輕水爐에 對한 그들의 研究費 支出額을 完全히 回收하기는 힘들 것이다. GE만은 新型轉換爐의 何等의 必要性도 豫測하고 있지 않으며 增殖爐의 急速한 開發을 強調하고 있지도 않다.

한편 이에 反하여 General Atomics社와 Atomics International社와는 輕水爐의 販賣에 對하여는 그다지 期待를 걸고 있지 않다. 오히려 새로운 時代에 들어가서 크게 成績을 올려야 되겠다는 생각을 가지고 있다. GE의 어떤 役員은 增殖爐의 開發에 어느 程度의 期間을 當然히 잡아야 하는가 하는 議論은 現在의 競爭狀態의 直接的 結果로서 自然히 解決될 것으로 보고 있다.

研究開發의 速度를 더 빨리 할 것을 支持하는 사람들은 많은 나라가 共同으로 增殖爐의 開發에 努力하고 있는 歐洲보다 美國은 뒤떨어지고 있다고 主張한다. 예를 들면 프랑스政府는 小規模의 增殖爐를 運轉中에 있으며 大規模의 實證爐의 建設도 計劃하고 있다. 소련은 이미 30萬Kw의 unit를 一部 建設하였다. 西獨은 高速增殖爐의 開發計劃에 이미 2億弗이나 支出을 하고 있다. 그리고 가장 積極的인 態度를 取하고 있는 英國은 1970년에 運轉을 開始할 豫定으로 이미 出力 25萬Kw의 高速增殖爐의 建設을 推進하고 있다.

美國의 原子爐製作業者는 Fermi爐의 失敗에 바추어 몸에 배인 樂觀主義를 多少 反省하고 歐洲 諸國의 激烈한 開發競爭을 注視하게끔 되었다. 그러나 그들은 歐洲의 各國도 멀지않아 어려운 問題에 부닥쳐서 時間을 뺏기게 될 것이며 따라서 確固한 主導權을 잡기란 容易한 일이 아니라고 믿고 있다.

한편 AEC 自身은 增殖爐가 언제쯤 가서 使用이 可能하게 될 것이냐 하는 問題는 또하나의 問題와 關聯이 있는 것으로 內心 생각하고 있다. 이것은 美國內의 經濟的인 우란 資源이 언제쯤 枯渴되느냐 하는 問題이다. 우란資源의 供給이 언젠가는 枯渴되리라는 不安은 AEC가 產業界에 新型轉換爐의 建設을 獎勵도 하고 토륨의 使用의 研究를 推進시키기도 하는 結果로 나타나고 있다. 토륨은 또한 우란과는 相違한 固有의 利點을 가지고 있다.

最近의 急激한 原子爐의 注文의 殺到는 低價 우란資源의 埋藏量에 至大한 關心을 集中시키는 結果를 가져왔다. 100萬Kw의 輕水爐에 必要한 初裝荷

燃料을 製造하는데 必要한 yellow cake( $U_3O_8$ )의 量은 530噸 乃至 870噸 程度이다. 그리고 運轉에 들어가는 出力을 維持하기 爲하여 每年 約 200噸을 必要로 한다. 그러므로 1970年까지에는 電氣事業者는 年間 約 5,000噸을 必要로 하게 될 것으로 豫想된다. AEC는 1980年까지에 美國의 原子力發電設備는 合計 約 9,500萬Kw에 達할 것으로 보고 있으므로  $U_3O_8$ 의 年間 所要量은 約 28,000噸에 達하게 될 것이다.

現時點에서 美國은 파운드당 10弗 또는 그 以下로 販賣할 수 있는  $U_3O_8$ 의 埋藏量은 190,000噸 所有하고 있다. 萬一 AEC의 推定이 正當하다고 한다면 이 量은 今後 14年間의 累積需要量을 充足시키기에 充分할 것이다(參考로 美國의 石油資源에 關하여 보면 이것은 每年 自然增加가 있어 恒常 12年分의 需要를 充足시킬 수 있는 量을 保有하고 있는 것으로 되어 있다). 그런데 새로운 探鑛에 依하여 昨年에는 겨우 6,000噸의 埋藏量을 追加하였음에 不過하였다. 이러한 比率로 나간다면 年間 需要量은 1970年代의 初期에는 新發見量을 超過하게 될 것이다. 그런데 AEC의 原子力發電의 增大豫測은 언제나 지나치게 낮은 實績이 있는 것으로 보아 이것 亦是 過少豫測이 될 憂慮가 없지 않다. 예를 들면 Atomics International 社의 社長 John Elaherty 氏는 1980年에 있어서의 原子力發電設備는 AEC의 豫想보다도 훨씬 큰 1.5億Kw 乃至 2.0億Kw에 達할 것으로 豫測하고 있는 것이다.

우란資源의 探鑛은 1950年代의 後半에 AEC가 갑자기 그 購買量을 減縮시켜 버렸으므로 中止되어 있었다. 이렇게 되기 數年前까지는 그 埋藏量은 每年 約 37,000噸의 比率로 增加를 繼續하고 있었다. 그런데 現在에 와서는 探鑛事業은 다시 擴大되기 始作하고 있다.

一部 地質學者들은 低廉한 價格의 原鑛이 大量으로 發見될 可能性은 앞으로는 매우 稀薄하거나 없을가 念慮하고 있다. 그러나 AEC의 原材料部 擔當理事인 Rafford Faulkner 氏는 「나는 앞으로는 電氣事業者의 需要量을 適時에 充分히 供給해 나갈 수 있다고 自信한다」라고 말하고 있다.

事實上 美國은 AEC의 豫測보다도 훨씬 많은 우란資源을 그 地下에 埋藏하고 있는 것이다. 그러나 그 大部分은 파운드당 10弗의  $U_3O_8$ 로서는 生産될 수 없는 條件을 가지고 있는 것으로 생각된다.

이 10弗이라는 數値는 大略 이 水準이라야만 現在의 輕水爐에 依한 原子力發電과 石炭에 依한 火力發電이 大體로 匹敵할 수 있기 때문에 매우 重要한 指標인 것이다. 即  $U_3O_8$ 가 파운드당 10弗보다도 싼 경우에는 原子力發電은 石炭火力보다도 原價가 싸지는 것이다. AEC는 現在 파운드당 8弗로 購入을 하고 있는데 私의 去來에서는 大體로 6弗 乃至 7弗 線에서 去來되고 있다.

將來 우란鑛의 價格이 어떻게 될 것이나 하는 豫想은 새로운 探鑛이 어느 程度까지 成功할 것이며 그 探鑛이 어느 程度의 費用으로 可能할 것인가에 依하여 左右된다. GE社에서는 우란資源의 價格은 1971年까지에는 파운드당 約 5.5弗로 若干 低下하였다가 1981年까지에는 約 6弗이 될 것으로 豫想하고 있다. 美國의 14個 電氣事業者로 形成되는 그룹의 研究에 依한 S. M. Stoller報告는 1970년에는 5.5弗 乃至 6弗로, 1980년에는 7弗로, 2000년에 가서는 14弗로 價格이 變動할 것이라고 豫言하고 있다.

그러나  $U_3O_8$ 의 價格은 爐心燃料價格의 一部分을 占하는데 不過하다. 그리고  $U_3O_8$ 의 價格의 上昇은 아마도 燃料의 다른 要素에 依하여 相殺되게 될 것으로 보인다. 現在의 AEC에 依한 우란의 濃縮은 파운드당 26弗의 價格인데 한편 燃料 pallet 및 燃料棒의 成型加工費는 40弗 以上에 達하고 있다. 現在로서는 燃料棒을 다발로 만드는 일은 거의 사라진 것으로 하고 있는데 今後 技術이 向上되어 需要가 增加함에 따라 成型加工費는 顯著하게 低下할 것이 豫想된다. 어떤 業者는 1980年까지에는 現在보다도 50% 以上 코스트가 低下하리라고 말하고 있다. 濃縮關係 코스트도 또한 民間事業이 되는 경우에는 아마도 現在보다도 低下하게 될 것이다.

結局 前出 Stoller報告에서도 우란原鑛의 價格이 上昇하더라도 1970년에 運轉을 開始할 原子爐의 核燃料價格은 繼續 低下하게 될 것이라고 指摘하고 있다. GE에서는 現在 建設中인 原子力發電所의 燃料費를 1970년에는 Kwh당 1.9 mill이 되고 1980년에는 1 mill까지 低下하리라고 말하고 있는데 이것은 總發電原價의 約 20%의 低下를 意味한다.

將來의 우란鑛의 供給에 關하여서는 다른 鑛物資源의 경우와 마찬가지로 結局에는 限定이 있는 것으로 생각하는 것이 思慮깊은 意見일 것으로 생각된다. 그러나 가까운 將來에 經濟的인 燃料의 不足이 일어날지도 모른다는 不安感이 增殖爐의 開發을

促進하고 있는 最大의 根據은 아니다. 여기에 關한 가장 明白한 解答은 GE社의 Karl Cohen 博士의 다음과 같은 簡明한 한마디로 充分하다고 하겠다. 即 「高速增殖爐를 願하는 理由는 單只 보다 低廉한 電力을 갖고싶기 때문이다.」

增殖爐가 어느 程度로 低廉한 電力을 生産하는가 하는 것은 嚴密하게 말하면 單只 空論에 不過하다. 그러나 생각할 수 있는 것은 萬一 電氣事業者가 剩餘플루토늄을 販賣함으로써 當初의 費用을 相殺할 수 있다고 한다면 實質的으로 燃料費를 省이 되도록 減縮시킬 수가 있다는 것이다. 複雜한 增殖爐의 높은 資本費도 이 節約에 依하여 코스트가 相當히 相殺되게 된다. 1980년까지에는 美國은 年間 2兆8,000億Kwh의 電力을 使用하게 될 것으로 想定되는의 萬一 發電原價를 1Kwh當 1 mill 節約할 수만 있다면 年間 電力料金を 28億弗이나 節約할 수 있다는 計算이 된다.

AEC委員長 Glenn Seaborg氏가 指摘하는 바와 같이 電力料金の 大幅의 引下는 에너지 利用部門에 劇的인 大變革을 齊來하게 될 것이다. Seaborg氏는 또한 다음과 같이 말하고 있다. 即 「大量的, 그리고 매우 값이 싼 에너지源이라는 것은 다른 어떤 資源의 利用도 이를 앞질러, 또한 食物이나 물이나 産業資材와 같은 基礎的인 資源의 그 어떤 것의 코스트도 이를 앞질러, 決定的인 位置를 占하게 될 것이다.」

그러나 AEC는 增殖爐가 成育하기까지에는 研究開發費로서 大略 20億弗의 費用이 支出되어야 할 것으로 보고 있다. 이것은 輕水爐가 開發되기까지에 支出된 費用을 若干 超過하는 金額이다. 그러나 輕水爐의 開發은 原子力潛水艦의 開發이라는 強制的 計劃의 一部로서 海軍에 依하여 支出되었던 것이다. 그리고 美國 最初의 原子力發電所로서 알려진 Pennsylvania州의 Shippingport發電所의 建設費의 大部分은 AEC가 이룬 負擔하였던 것이다. 이에 反하여 AEC가 增殖爐開發에 支出한 金額은 比較的 僅少한 것이다. 即 今年度の 豫算은 5,080萬弗이며 來年度는 約 7,040萬弗로 豫定되어 있다.

原子爐의 製造業者들은 當然한 일이지만 增殖爐의 開發에 政府가 더 많은 費用을 負擔할 것을 希望하고 있다. 그러나 더 重要한 것은 그들이 이 重大한 事業을 政府가 그릇된 方法으로 다루지나 않을가 念慮하고 있다는 事實이다.

根本的으로는 現在 2個의 議論이 빙글빙글 回轉하고 있는 것이다. 하나는 大規模의 開發에 着手하기 前에 좀더 基本的인 技術研究를 推進하여야만 된다는 것과 또 하나는 實證爐의 建設을 推進하는 同時에 急速히 實規模의 開發을 實施하여야 된다는 理論이다. 그러나 이러한 經過를 잘 알고 있는 AEC의 어떤 技術者는 다음과 같이 말하고 있다. 即 「이제 와서 생각해 보면 너무나 早急하게 서들은 感이 있는 Fermi爐에 힘을 쏟는 代身에 보다 基礎的인 研究에 注力하였다더라면 우리는 現在보다는 良好한 狀態에 있게 되었을 것이다.」

最近 2年 동안 많은 論爭이 AEC의 原子爐開發技術擔當 理事인 Milton Shaw氏에 集中되어 있다. 이 사람은 海軍의 原子力潛水艦計劃을 推進해온 사람으로서 2年前에 AEC에 編入된 頑固하고 融通性이 없는 人物이다. Shaw氏가 AEC로 왔을 當時 民間의 原子爐開發計劃은 遲遲不振으로 失敗가 연달아 그 解決에 매우 속을 썩이게 되었다. 그는 이에 對하여 이들 計劃이 豫備的인 研究가 不充分하고 技術도 貧弱한 것이라고 苛酷하게 그 責任을 묻고 그 中의 一部에 對하여는 AEC의 援助를 中止하는 措置를 하여 버렸다. 그 以後 그는 高速增殖爐計劃의 管理와 技術的 開發을 一切 AEC의 手中에 轄 쥐고 自己 스스로 이것을 執行하기로 決心하였다. 即 此 以前 AEC直轄의 研究所를 設置하기로 하고 8,800萬弗을 出資하여 1968년까지에는 着工할 豫定으로 現在 準備를 進行하고 있다. Shaw氏의 計劃에 依하면 AEC가 直接 管理하는 實證爐가 建設되게 되는 것이다.

이에 對하여 原子爐製作業者들은 「Shaw의 급어 모으기計劃」이라고 이것을 不快한 心情으로 注視하고 있다. 그들은 發電所의 建設者라는 地位로부터 브랄것없는 部分品の 供給者의 地位로 밀려난 것으로 생각하고 있다. 그리고 今後에는 AEC의 設計書를 본다면 AEC가 開發한 各種 設備를 利用함으로써 貴重한 經驗을 얻을 수 있는 機會를 喪失해 버린 것으로 생각하고 있다. Atomics International社의 前社長 Chauncey Staar博士는 「Handbook를 所有하는 것만으로 優秀한 技術者가 될 수는 없다」라고 말하고 있다.

많은 製作業者들은 AEC가 2,3의 會社에 對하여 政府補助를 주고 電力會社의 出資金도 여기에 보태어 實證的인 增殖爐의 開發을 指導하고 있는



方法을 오히려 冷靜하게 注視하고 있다. 또한 General Atomics社는 AEC의 援助에 自己資金 및 電氣事業者의 出資金을 보태어 高溫가스冷却方式에 依한 新型轉換爐의 開發에 熱中하고 있다.

原子爐의 製作業者들은 自己들의 獨自의 方式으로 하면 1970年代의 後半에는 商業用 高速增殖爐가 運轉에 들어가게 될 것이라고 主張하고 있으며 이에 反하여 Shaw氏의 方式은 若干 뒤떨어지게 될 것으로 보고 있다. WH社는 高速增殖爐의 開發에 對하여 自進하여 2,000萬弗을 出資할 意向을 가지고 있으며 이에 對하여 萬一 AEC가 若干의 援助를 提供한다면 아마도 1975년까지는 實證爐의 運轉에 들어갈 수 있으리라고 생각하고 있다. 한편 Shaw氏는 「萬一 여러분이 나에게 GE 全體와 AEC의 Argonne 國立研究所를 全部 마저 준다면 只今 當場에 高速型 實證爐를 建設해 내겠다」라고 말하고 있다. 그러나 이것은 한 會社에만 主導性을 賦與하는 것이 되고 1954年の 原子力法에 規定된 AEC의 任務에 違背되는 일이 될 것이다. 이 法의 精神은 AEC가 民間의 經濟的인 原子力의 開發을 指導할 責任이 있으며 또한 公正한 業界의 競争을 保障하여야 된다는 것이었다. Washington에 있는 다른 若干의 政府機關에 對하여서도 같은 말을 할 수 있는 일이지만 AEC는 競争이라는 것은 多數의 競争者가 있어야만 比로소 成立할 수 있다는 事實을 깨달아야만 될 것이다.

過去에 있어서는 AEC는 在來型의 火力發設備電를

만든 製作業者보다도 더 많은 數의 原子爐生産業者를 養成하려고 試圖하였다. 처음에는 長久한 經驗을 가진 터빈發電機 메이커나 보일러 製作者에게 많은 注文을 하였고 그後 漸次로 範圍를 擴大하여 過去에는 別로 電氣事業者와의 接觸이 없었던 North American Aviation 社, General Dynamics 社와 其他 會社에 對하여서도 注文을 擴大해 왔다.

그러나 이러한 努力은 現在로서는 그다지 效果를 거두지 못하고 있는 것 같다. 即 現在로서는 GE와 WH 兩社가 美國의 輕水爐分野를 거의 獨占하고 있다고 할 수 있는 것이다. 뿐만 아니라 이 兩社는 比較的 늦어지고 있는 燃料事業의 統一에도 손을 뻗칠 意向을 表明하고 있다. 이러한 動向은 分明히 AEC의 立場을 難處하게 만들게 될 것이다.

AEC는 來年度中으로는 美國의 高速增殖爐의 開發을 어떻게 推進할 것인가 하는 基本方針을 決定하게 될 것이다. AEC는 이 計劃을 實施에 옮기는 데 있어 第2次大戰中에 美國의 原子力計劃에 크게 이바지한 이탈리아의 原子力科學者 Enrico Fermi의 有名한 말을 銘心하여야 될 것이다. 即 「最初에 增殖爐를 開發한 國家는 곧 世界의 原子力界의 指導者가 될 것이다.」 同時에 이 增殖爐의 開發에 勇躍 從事하고 있는 原子爐메이커들도 이 말의 뜻을 언제나 잊어버리지 말아야 될 것이다. 多幸히 그들은 不運한 Enrico Fermi 高速增殖爐가 있는 場所에 이 말을 새겨넣고 있기는 하지만.

(Fortune 誌 1967年 3月號)

## 電氣會館에

### 「電氣人의 休憩室」

#### 〈協會 會議室을 널리 開放〉

電氣會館에 「電氣人의 休憩室」이 마련되어 電氣人 여러분의 많은 利用 있으시기를 기대하고 있습니다.

即 協會 會議室(302號室)의 門戶를 開放하여 電氣界 人士라면 누구나 隨時로 들러서 쉬고 즐기고 할 수 있도록 하자는 趣旨에서 爲先 몇가지 娛樂道具도 마련하였습니다.

當初의 構想으로는 아늑한 獨室에 各種 娛樂施設을 平穩하게 갖추고 電氣人 여러분이 自己집처럼 허물없이 언제나 出入할 수 있는 名實相符한 電氣人의 安息處를 구밀 計劃이 있었습니다. 協會의 財政狀態가 安定될 때까지 臨時方便으로 會議室을 이 目的에 充當하기로 된 것입니다.

協會의 顧問, 任員, 會員 되시는 분은 勿論이고 其他 電氣界 人士 여러분들의 넓은 理解와 많은 利用 있으시기를 바라면서 以上 알려 드리는 바입니다.

〈事務局〉