

發電原子爐에 對한 小考

電氣學會會員 李 昌 健

原子力發電所를 建設하는데 있어서는 干先 어떠한 型의 爐를 얼마나 큰 容量으로 어떻게 定할 것인가 講究하는 것이 先決問題인 줄로 생각된다. 動力爐는 아직 初期段階에 있으므로 在來式 火力發電에 比하여 經濟的인 打算이 맞지 않는다는 것은 事實이지만 이러한 狀態가 無制限으로 繼續되지는 않을 것이므로 우리는 此問題에 對備하는 適切한 計劃을 지금부터 생각하여 두는 것이 妥當할 줄 안다.

먼저 原子爐 建設에 隨伴되는 여러가지 問題中 資金關係를 除外한 몇가지를 추려서 例擧해 보기로 한다. 勿論 資金問題는 本論題中에서도 가장 重要한 關鍵이라는 것을 모르는바 아니로되 此問題는 좀더 有能하고 責任있는 분에게 미루기로 하고 筆者는 單只 資金이 解決된 然後의 問題中의 몇가지 만을 論하기로 하겠다. 한가지 미리 諒解를 求하여야 할 것은 換率의 變動, 公正換算과 市中換算과의 懸隔한 差異, 그리고 文獻의 不足 等等으로 因하여 韓國에 對한 調查結果는 여기에서 取扱되지 못하였다는 事實이다. 讀者諸賢의 正當한 批判과 理解가 있기를 바란다.

(가) 原子爐建設問題

1) 建設勞賃의 比較

原子爐 建設에는 主로 重機取扱熟練工, 輕機取扱熟練工, 建築關係從業員, 鐵鋼材工, 鎔接工, 木工, 벽돌工, 一般勞務者 等等과 이들을 指揮監督할 會社側의 幹部社員이 動員될 것이다.

美國 原子力 委員會에서 發表한 文獻에 依하면 上記의 모든 勞務人員을 平均하여 美國과 英國과 日本의 境遇를 比較한 것이 大略 다음과 같은 率로 表示된다.

$$\frac{\text{美國의 平均勞賃}}{\text{英國(런던)의 勞賃}} = 5$$

$$\frac{\text{美國의 平均勞賃}}{\text{日本(東京)의 勞賃}} = 13$$

即 美國人 한사람을 採用할 돈만 가지면 英國人은 五名, 日本人을 13名을 雇備할 수 있다는 뜻이다, 韓國人은 25名程度가 아닐까 한다.

2) 勞動者の 일의 能率

같은 能力을 가진 勞動人員이 같은 일에 從事하고 있다 할지라도 機械化되지 못했고 計劃性이 不足하고 管理가 不充分하며 또한 效果的인 方式을 採擇하지 못하였다는 理由로 해서 어떤 나라 사람들 보다 일의 能率이 나쁠때가 있다, 이 問題를 다루기는 대단히 힘들지만 美國 原子力委員會, 英國 生産性委員會, 그리고 美國政府가 調査한 日本에서의 生産性 等等에 關한 報告書를 綜合하여 보면 大略 다음과 같은 比率를 얻을 수 있다. 即

$$\frac{\text{美國人의 勞動能率}}{\text{英國人의 勞動能率}} = 2$$

$$\frac{\text{美國人의 勞動能率}}{\text{日本人의 勞動能率}} = 10$$

다시 말하면 美國人 한사람은 英國人 2名의 일을 하고 또한 美國人 1名은 日本人 10名의 일을 한다는 뜻이다. 美國人 1名이 韓國人 몇拾名의 일을 한다는 것에 對한 報告가 아직 없기 때문에 여기에서 云云할 수는 없지만 萬一 正確한 數字가 나오면 모두들 놀라리라고 생각한다.

3) 建設資材費의 比較

原子爐 建設을 爲한 資材中에는 在來式 建設工事に 要하는 鐵鋼材·洋灰·木材·砂 等等이 있는데 이러한 資材의 價格은 豫期치 않은 變動으로 因하여 相當히 變하는 수가 있다. 이를테면 스에즈運河 紛糾에 依한 歐羅巴製 鐵鋼材의 求得難, 最近 美國에 있었던 鋼鐵罷業에 依한 鐵鋼材價格의 引上 等等을 들 수 있을 것이다. 다음은 이러한 急激한 變化가 없는 平常時의 各國의 資材費를 比較한 것이다.

$$\frac{\text{美國 資材費의 平均}}{\text{英國內의 資材費}} = 1.11$$

$$\frac{\text{美國 資材費의 平均}}{\text{日本內의 資材費}} = 1.40$$

4) 總建設工事費의 比較

原子爐 建設工事에는 나라에 따라서 그 建設方法이 다를 것은 勿論이다. 先進國에서는 道具와 器具를 많이 使用할 것이고 後進國에서는 人力을 많이 動員시키는 것이 自然趨勢인데 器具와 道具를 많이 使用하는 境遇에도 大型道具와 小型道具의 差異도 있을 것이다. 이러한 差異는 建設工事に 莫大한 影響을 招來하고 있다. 이러한 모든 條件을 參酌하여 各各의 工事費를 比較하면 다음과 같다.

$$\frac{\text{美國에서의 建設費}}{\text{英國에서의 建設費}} = 1.5$$

$$\frac{\text{美國에서의 建設費}}{\text{日本에서의 建設費}} = 1 \sim 1.2$$

日本에서의 建設費가 比較的 많이 드는 것은 重要的 資材와 器具가 外國에서 輸入되기 때문이다. 그러므로 資材와 器具의 大部分을 外國에 依存하여야 하고 우리나라에서는 日本보다도 建設費가 훨씬 많이 들것임에 틀림 없다.

(나) 既設 動力爐의 檢討

단 모든 產業分野와 마찬가지로 韓國의 電氣事情은 特殊하니 만큼 電氣의 需要供給狀況도 安定된 外國의 實情과 같을 수가 없다. 先進國에서의 電氣供給量은 每十年마다 二倍로 增加되는데 이것은 工業水準이 十年마다 두갑절씩 늘어간다는 뜻으로 解釋될 수가 있는 것이다. 그러나 우리나라의 電氣供給量이 近來에 와서 七年만에 二倍로 增加되었다는 것은 工業水準이 急激한 增加一路에 있다는니 보다는 오히려 過去

의 施設을 復舊하여온 段階에 지나지 않는다고 보는 것이 妥當할것 같다.

現 1960年의 電氣量이 1953年의 二倍라는 것을 보아서 1967년에는 現 電氣量의 2倍가 될것이라고 豫測된다. 따라서 우리는 1967年頃에 子力發電所를 建設한다고 假定하고 그에의 實情을 생각하여 보면 그에의 原子力發電所 하나의 容量은 그 當時의 全施設容量(75萬kw 內外로 推測된)의 10~15%가 넘게 計劃할 수는 없을 것이므로 우리는 여기서 比較的 小型의 動力爐를 檢討하는 것이 좋을 것이다.

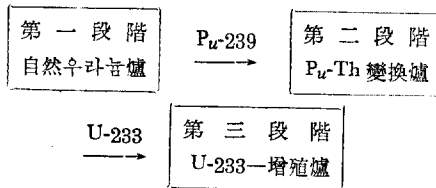
다음 表는 現在까지 研究發展되어온 原子爐 몇 個를 주려 놓은 것인데 出力이 우리에겐 너무 過多함으로 그것을 10萬kw, 7.5萬kw 及 5萬kw로 縮少시켜 본 것이다. 縮少方式은 American Standard社의 A. Puishes와 그 同僚들이 使用하는 方式을 採擇하였다. 即 電氣出力 5萬kw 以上の 範圍에서는 建設費가 施設容量의 二分之一乘에 比例하고 kWh 當의 生産費는 施設容量의 二分之一乘에 反比例하고 또한 kw 當의 建設費는 施設容量의 二分之一乘에 正比例한다는 方式이다. 施設費와 生産費는 時日이 經過함에 따라 漸次 減少되는데 美國 Atomics International社에서는 kWh 當의 生産原價를 1967年度에는 7.0 밀(註 mill은 十分之一仙), 1969年度에는 6.1 밀로 看做하고 있다. 如何間 kw 當의 建設單價는 當分間 400 弗以下로 되기가 어려울 것이다. 그리고 이 建設單價도 建設後에 보면 처음 豫算했던것 보다 數割 비싸게 드는 것이 通例이어서 美國에서는 向後 10年 以內에는 經濟的인 打算이 맞는 發電爐가 製作되기는 힘들것이라고 보고 있다.

原子爐名	爐型	電氣出力	冷却體溫度(出)	冷却體壓力(入)	試 圖					
					10萬 kW		7.5萬KW		5萬kw	
					建設費 \$/kw	生産費 mills/kwH	建設費 \$/kw	生産費 mills/kwH	建設費 \$/kw	生産費 mills/kwH
Shippingport	加壓式濃縮 (~93%)	60MW	529°F	2000Psi	940	47.6	1,072	54.8	1,312	67.1
Yankee	加壓式濃縮 (3.4%)	110MW	529°F	2000Psi	395	13.7	414	15.6	506	19.3
Dresden	沸騰水式濃縮 (1.5%)	180MW	542°F	1026.7 Psi _g	第一次 熱料를 除外코 180MW에 \$45,000,000를 썼음					
Hunterston	自然우라늄 非均質型 CO ₂ 冷却	150MW	742°F	150Psi _g	429	9.7	499	11.3	606	13.8
Bradwell	自然우라늄 非均質型 CO ₂ 冷却	150MW	770°F	147Psi _a	457	10.3	531	11.8	650	14.3
Enrico Fermi	液體金屬冷却 濃縮(25.6%)	90MW	800°F	120Psi _a	467		557		657	
OMCR	有機物冷却濃縮 (2.5%)	300MW	675°F		400	12.3	465	14.2	565	17.3

(다) 核燃料問題

將次的 核燃料로서는 外國에서 導入해 온 濃縮 우라늄을 쓰지 않고 國內에서 生産되는 自然우라늄 或은 토륨을 使用한다고 假定해 본다.

그런데 토륨은 分裂性燃料이 아니기 때문에 먼저 U-233 으로 變換시켜야 하는데 그럴때면 先 中性子源을 마련해야 한다. 中性子源은 供給하는 物質로서는 U-235 나 푸러토늄을 들 수 있다. 그러나 U-235 는 巨大한 同位元素分離施設을 가져야 얻을 수 있으므로 앞으로 새로운 分離方法이 나타나지 않는限 核燃料의 自給自足を 目標로 하였을 때의 우리의 實情으로는 考慮의 對象이 못된다고 보는 것이 妥當할줄 안다. 그러므로 우리는 核燃料 供給問題에 있어서 다음과 같은 길을 밟게 되리라고 생각해 보기로 한다.



第二段階와 第三段階에서의 動力의 出力을 推算키 爲하여 便宜上 第一段階에서 年間 200kg의 Pu-239가 生産된다고 假定키로 한다. 그러면 어떤 特定한 出力을 얻기 爲하여는 年間 얼마만큼의 Pu가 必要할 것인가를 알아낼 수 있게 된다.

1) 第一段階——自然우라늄 原子爐

第一段階 自然우라늄 原子爐는 動力生産과 아울러 푸러토늄生産을 目的으로 한 것인데, 單位時間當에 生産되는 푸러토늄의 量은 大體로 다음 세가지 函數에 依하여 決定된다.

가. 原子爐內에서 自然우라늄가 받는 總被照射量

나. 初期變換率

다. 爐의 容量

여기에서 初期變換率은 各各의 爐型과 設計樣式에 따라 差異가 있으므로 Pu-239의 生成量은 初期變換率의 函數로 나타난다.

우라늄을 噸當 3000MWD 만큼씩 照射시키면 初期變換率이 0.8 負荷率이 80%, 總效率이 25%인 2×200MW(E) 容量의 原子爐를 가지면 年間 200kg의 Pu-239를 生産할 수 있게 된다. 但 이것은 平衡狀態가 維持된다는 것을 假定했을 때

이다. 그러나 原子爐의 出力이 적을 때는 初期의 一年乃至二年間은 燃料를 그렇게 많이 照射시킬 수 없게 됨으로 自然히 푸러토늄 生成率이 增加될 것이다. 이 第一段階 原子爐는 動力兼 푸러토늄 生産用이기 때문에 燃料의 過多照射를 막기 爲하여는 出力을 낮게 하는 것이 有利하다.

2) 第二段階——Pu-Th 變換爐

第二段階에서는 第一段階에서 生産된 푸러토늄을 태워서 토륨을 U-233 으로 變換시키는 過程인데, 여기에는 熱中性子系와 高速中性子系의 두 가지 型이 있다. 一般의 熱中性子系에서는 푸러토늄의 量이 덜든다. 熱中性子에너지 範圍에서는 푸러토늄에 對한 γ (增産率)의 값이 적기 때문에 變換率이 대단히 낮다. Zimm의 計算에 依하면 初期의 變換率은 約 0.6이다.

그리고 照射가 繼續됨에 따라서 그때 그때의 反應度는 Pu-239의 燃燒에 依하여서 減少된다. 變換途中에는 U-233도 燃燒될 것이고 또한 處理過程에서 損失도 考慮해야 하기 때문에 純變換率은 0.45로 보는 것이 現實的이다.

熱中性子系의 變換爐는 加壓水冷式(普通水 或은 重水)이나 沸騰水式 原子爐(重水 或은 普通水)가 좋다. 이 第二段階 變換爐로서의 氣體冷却式은 U-233 生成 目的에는 適合치 않은데 그 理由는 무엇보다도 푸러토늄가 많이 들기 때문이다. 한편 高速中性子系의 變換爐는 푸러토늄가 많이 들긴 하지만 U-233의 生成率이 대단히 좋다. 이 系에서는 分裂生成物의 毒性效果와 化學處理中の 損失 等等을 考慮에 넣더라도 變換率을 1.5로 維推할 수 있다.

3) 第三段階——U-233-Th 增殖爐

第三段階는 第二段階에서 얻은 U-233을 태워서 토륨을 U-233으로 變換시키는 過程인데, 여기서 增殖이라는 말을 쓴것은 燃燒된 U-233보다 生成되는 U-233의 量이 많기 때문이다.

本 第三段階에서 가장 重要視되는 問題는 燃料의 重複期를 늘 수록 짧게 하는 것이다. 이 觀點에서 보면 高速中性子系의 爐는 熱中性子系의 그것보다 훨씬 不利하다. 그 理由는 高速中性子系에서는 γ (增産率)의 값이 別로 큰 구실을 갖할뿐 더러 燃料의 充填을 8乃至 10倍는 해야하기 때문이다. 그러나 燃料充填을 多量으로 한것

—50頁에 계속—