

Energy 變換 特輯

閔 景 植*

原子力에너지의 利用

—차

례—

1. 머리말
2. 原子力發電의 種類
3. 原子力發電의 必要性
4. 原子力發電의 經濟性
5. 原子力發電所의 安定性
6. 核燃料週期의 現況
7. 古里原子力發電所 1號機의 現況
8. 結 言

1. 머리말

地球上에서 人類가 利用할 수 있는 能源은 石炭, 石油, 天然ガス, 原子力, 太陽熱, 地熱, 潮力等은 그 利用度가 微微하거나 아직 研究開發段階로 지금 까지 그 主宗을 이루고 있는 것은 石炭, 石油類라고 할 수 있다. 그러나 1973年末의 石油波動以後 石油에의 信賴度는 激減되었고 漸次로 資源武器化 되어 가는 石油類에 對抗할 수 있는 것은 오직 原子力만이 할 수 있는 것이 아닌가 느껴진다. 電力의 生產을 為한 原子力發電의 經濟的妥當性은 이미 世界各國에서 認定되어 實用化되어 왔었으나 “오일쇼크” 以後의 油類價上昇은 原子力發電의 在來式發電에 對한 優位성을 더욱 鞏固히 해주고 있다.

우리 나라에서도 595MW 容量의 古里 原子力發電所가今年 11月이면 竣工되어 發電을開始하게 되는데 이를契機로 原子力發電에는 어떠한 種類가 있는지를 살펴보고, 그 必要性은 무엇인가 그리고 經濟性, 安全性은 어떠한가를 알아보고, 核燃料 確保關係 現況과 竣工을 앞둔 古里原子力發電所建設現況에 對하여 說明하고자 한다.

2. 原子力 發電의 種類

現在 世界的으로 많이 實用化되고 있고 또 實證된 原子爐는 무엇보다도 輕水爐(Light Water Reactor)라고 할 수 있겠다. 또 아직까지 輕水爐만큼 普及되어 있지는 않으나 韓電에서 月城原子力發電所에 導入하여 建設하고 있는 重水爐(Heavy Water Reactor)가 있고, 英國에서 主로 開發한 가스冷卻爐도 있으나 지금 英國自體가 앞으로는 輕水爐를 設置하여야 하지 않느냐하는 論議段階에 있으므로 여기서는 主로 輕水爐와 重水爐에 對하여서만 簡單히 그 構造와 特性等을

說明하고자 한다.

가. 輕水爐

이는 輕水 即 普通의 물을 減速材兼 冷却材로 使用하는 것으로 輕水는 重水보다도 中性子吸收率이 크기 때문에 燃料는 濃縮우라늄을 使用하게 된다. 이 濃縮우라늄을 만들기 為하여 濃縮工程을 거쳐야 한다는 것이 하나의 隘路事項이라고 할 수도 있다. 그러나 輕水는 中性子減速能力이 크고 熱傳達特成이 優秀하므로 原子爐가 小形으로 될 수가 있는 것이 特徵이다.

輕水爐中에는 두가지 種類가 있는데 그 하나는 原子爐內에서 물의 沸騰을 許容치 않고 壓力を 加하는 加壓型 原子爐와 또 하나는 原子爐內에서 물을 沸騰시켜 그 蒸氣로 直接 터빈發電機를 돌리는 沸騰水型

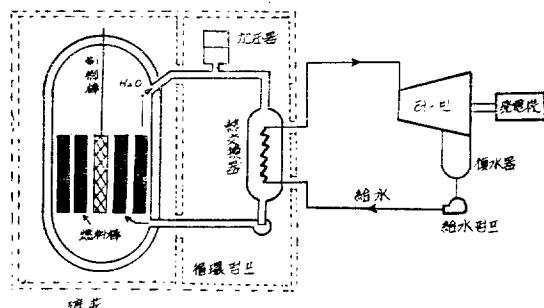


그림 1. 加壓水形爐

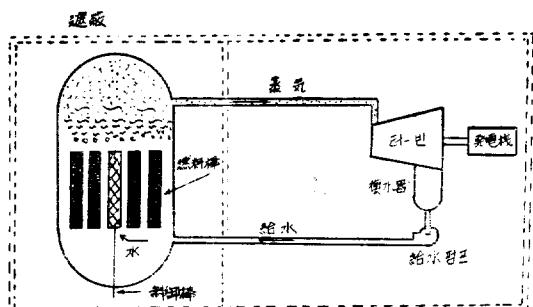


그림. 2 沸騰水形爐

* 正會員：韓電 原子力發電部長

原子爐가 있다. 두가지 爐型의 큰 差異는 沸騰水型은 直接 灼이를 인해 反해 加壓水型은 間接 灼이를 冷却系로, 터빈發電機를 돌리는 蒸氣에 放射能이 侵다는 것 이 有利한 點이다. 그림 1 및 그림 2에 加壓水型(PWR)과 沸騰水型(BWR)의 系統圖를 각각 表示하였으며 韓電의 古里原子力 1號機와 2號機에는 加壓水型을 採擇하였다.

나. 重水爐

重水爐는 重水를 減速 또는 冷却材로 使用하여 輕水爐와는 달리 天然우라늄을 燃料로 使用할 수 있다는 것이 큰 長點이긴 하나 重水價格이 高價이므로 原子爐系의 保有重水量이나 漏洩防止에 神經을 써야한다. 月城原子力發電所에 建設中인 것은 重水爐로서 카나다에서 開發을 하였기 때문에 CANDU라고도 부르며 그 系統圖를 그림 3에 表示하였다.

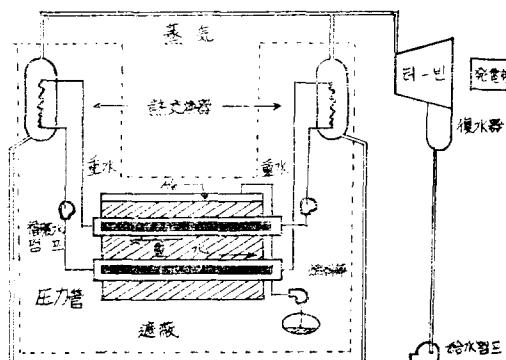


그림 3. 壓力管形重水爐

3. 原子力發電의 必要性

原子力發電과 在來式發電方式과의 差異는 한마디로 해서 使用燃料의 差異 即在來式은 터빈發電機를 돌리는 水蒸氣를 產生하되, 물을 끓이는 燃料가 石炭이나 石油인데 反하여 原子力發電은 물을 끓이는 熱源으로서 우라늄 核分裂時에 일어나는 에너지를 利用하는 것이다. 또 燃料의 使用期間도, 在來式은 燃料를 繼續供給해 주어야하나 原子力에 있어서는 한번核燃料를 裝填하면 一年間은 補充 없이 繼續使用할 수 있다는 것도 特色이라고 할 수 있다.

다음에는 原子力發電所를 왜 많이 建設해야 하는지 그 必要性에 關해서 알아보기로 한다.

첫째 原子力發電은 在來式發電에 比해 經濟性이 훨씬 좋다. 例를 들어 古里原子力發電所 1號機의 增遇

를 보면 原子力의 發電原價는 9원 21전/KWH인 反面 同一容量의 油專燒發電所의 發電原價는 15원 37전/KWH로 原子力이 KWH當約 6원 低廉하여 年間 約 240億원의 發電原價節減을 가져올 수 있다.

經濟性에 對해서는 後에 좀더 仔細히 記述하기로 한다.

둘째 原子力發電은 에너지源의 多元化面에서도 必要하다. 지금 國內 石炭資源은 約 4億屯의 埋藏量밖에 없어 向後 30~40年間의 使用分 밖에 안된다고 한다. 其外의 우리 나라 主要 에너지源은 輸入石油밖에 없는 데, 그것도 高價인데다가 萬一 中東戰爭이라도 일어난다면 그나마도 供給이 斷絕될 可能性을 內包하고 있으니, 무엇인가 에너지源을 다른 곳에 確保해 둘 必要가 있다. 이것이 바로 우라늄이다. 우라늄資源은 美國, 澳洲, 카나다, 南아프리카 等에 散在해 있어, 石油外의 에너지源을 또 하나 가진다는 意議가 있다고 할 수 있다.

셋째 燃料의 轉送 貯藏等 供給過程에 있어서 核燃料極히 有利한 面을 가지고 있다. 即 約 2.5%로 濃縮된 우라늄 1屯은 그 热量을 基準으로 할 때 石油 5萬屯, 石炭으로 치면 10萬屯에 該當한다. 따라서 古里 1號機의 境遇를 比較하면 核燃料는 1年에 平均 16屯의 우라늄을 供給해야 하므로 이것이 石炭發電所보다면 年間 約 160萬屯의 石炭이 必要하게 되어 每日平均 約 110臺의 石炭貨車가 發電所로 들어와야 된다는 結論인데 貨車臺數의 保有분 아니라 그 輸送도 簡單한 問題가 아니다.

한편 石油의 輸送關係를 생각해보면 2,000年代 우리나라 輸入에너지의 全部 石油에 依存한다고 보면 約 2億屯이 必要한데 그 輸送을 為하여는 20萬屯級 原油 Tanker가 100隻以上 所要되는바 그 輸送費 또한 莫大한 額數에 達할 것이다. 또한 그 貯藏關係에 있어서는 石油는 非常時에 對備하여 적어도 2個月分의 貯藏이 있어야하는데 그 境遇 단지 貯藏目的을 為해서만 맹크 費用이 約 2億弗이 必要하며 더구나 그에 따르는 用地費等을 考慮한다면 莫大한 投資費가 所要된다. 이에 反해서 核燃料는 古里 1號機에 있어서는 1年에 16屯이므로 大型트럭 2臺면 輸送은 簡單하고 上記 2000年代 石油에너지의 原子力에너지로 代替할 境遇에도 核燃料는 約 4千屯이면 足하므로 이의 輸送은 小型船舶 1隻이면 充分하다는 말이된다.

以上과 같이 原子力의 開發은 에너지需給上 經濟的인 利得과 그 附隨의 影響을 考慮할 때 絶對의으로 必要하다고 할 수 있다.

4. 原子力發電의 經濟性

그러면 다음은 原子力發電의 經濟性에 對하여 記述해 보고자 한다. 一般的으로 原子力發電所는 建設工期가 約 7~8年으로 長期間이 所要되고 또 核燃料 取扱設備, 放射線 遮蔽設備, 廢棄物處理設備等에 建設單價가 在來式 發電所에 比해 約 1.5乃至 2倍로 비싸다. 勿論 單位容量이 增大함에 따라 kW當 建設單價가 原子力쪽이 急激히 上이지기는 하나 在來式보다 高價인 것은 틀림없다. 그러나 核燃料費에 있어서는 原子力쪽이 約 1/3 程度로 적다. 核燃料費의 計算은 原鐵矿, 그 精鍊으로부터 變換, 濃縮 및 成型加工의 諸課程에 有する 費用을 全部 考慮해서 計算한 것이다. 古里

表 1 發電原價構成

區 分	發電所名	古里1號機	火力
竣 工 年 度		1977	1977
發電所 穢動率(%)		70	70
原 子 爐 形	加壓輕水形	油專燒	
施 設 容 量(MWG)	595	650	
建 設 單 價(\$ / KWG)	495	368	
年間固定比率(%)		12.87	12.87
推定發電原價 Mills/KWHN	固 定 費 燃 料 費 運 轉 維持費 核 保 險 費	10.96 7.30 0.68 0.05	7.98 22.70 1.02 —
合 計	Mills/KWHN 원/KWHN	18.99 9.21	31.70 15.37

1號機의 境遇를 보면 表 1에 있는 바와 같이 發電原價에 있어 原子力의 KWH當 約 6원이 低廉하다.

古里 1號機(595MW)와 2號機(650MW)의 建設單價는 각각 約 500 \$ 및 1000 \$ / kW로豫想되며 重水爐를 採擇한 月城 1號機(678MW)는前述한바와 같이 濃縮우라늄을 쓰지 않고 天然우라늄을 使用하기 때문에 原子爐가 커지고, 또 積비싼 重水量 冷却材 또는 減速材로 使用하게 되는 等으로 그 建設單價가 輕水爐보다 비싸서 지금推定으로는 約 1300 \$ / kW로推算하고 있다. 그러나 燃料費에 있어서는 濃縮費가 省略되어 輕水爐보다도 월씬 低廉하므로 亦是 在來式發電所보다는 發電原價가 싸다. 더구나 石油를 中東地區에서 全量輸入하는 우리나라에 있어 OPEC가 앞으로 언제 또 态意로 油價를 올릴지 不安定함을 감안할 때 燃料費差異가 더욱 커질 것임을 考慮하면 原子力發電의 有利性은 더增加될 것임에 틀림없다.

5. 原子力發電所의 安全性

以上과 같이 에너지 需給面에서 必要하고 또 經濟性에 있어서도 有利한 原子力發電所는 果然 安全한가? 美國 MIT의 Rasmussen教授가 美國政府의 要請에 依하여 研究한 報告書(1974)에 따르면 原子力發電所의 事故는 飛行機墜落事故의 몇 萬分의 1에 該當할 만큼極少하다는 것을 말해 주고 있다(表 2). 近來의 와서 美國

表 2. 原子力發電所의 事故確率

區 分	事故別	100名以上 死亡確率		1,000名以上 死亡確率
		2年에 1回	2,000年에 1回	
人爲的事故	航空機・落	2年에 1회	2,000年에 1회	
	火 災	7〃 1〃	200〃 1〃	
	爆 發	16〃 1〃	120〃 1〃	
	有毒 가스	100〃 1〃	1,000〃 1〃	
自然災害	颶 風	5〃 1〃	극히 적음	
	地 震	20〃 1〃	50年에 1회	
	噴 石	10萬〃 1〃	100萬〃 1〃	
原子力事故	100基	10萬〃 1〃	100萬〃 1〃	

內 原子力發電所를 規制하는 NRC(原子力規制委員會)의 規制指針(Regulatory Guide)은 漸漸 까다로워지고 있다. 우리나라도 그를 準用하고 있는 形便으로, 原子力發電所가 어떻게 安全하게 設計되어 있는지를 살펴보기로 한다.

첫째 原子力發電所의 原子爐設備系統機器의 大部分은 耐地震 設計가 되어 있다. 韓電의 水力發電所 Dam의 設計에 있어서는 耐震設計係數로서 0.03g 乃至 0.05g(g는 重力加速度)를 適用하고 있으나 在來式火力發電所에서는 거의 考慮하지 않고 있다. 韓國의 地震에 關한 中央觀象臺記錄에 依하면 1963年에 蔚山近海에서 最大 0.082g에 該當하는 地震이 記錄되어 있다고 하는데 古里原子力에서는 0.2g에서도 機能喪失 없이 原子爐系統이 安全停止 할 수 있도록 設計되어 있다.

둘째 原子力發電所는 工學的 安全設備(Engineered Safeguard System: ESS)를 갖추고 있고 어떤 假想事故下에서도 核燃料熔融없이 安全하도록 設計되어 있다. 原子爐의 設計와 運轉에 있어서 安全을 為한 窶極的目的은 結局 原子爐에 發生하는 核分裂物質을 外部로 끝나가도록 制御하는데 있는데 그 設計基準은 가장 酷甚한 條件인 原子爐冷却機 파이프의 兩端破裂(Double Ended Break) 事故時에도 모든 放射能物質이 原子爐格納容器內에 남아있도록 安全注入設備, 格納容器 噴霧系統等의 ESS가 갖추어져 있다. 뿐만 아니라

과 ESS는 100% Stand-by가 있어 비록 1臺가 故障이 나서 運轉이 不可能하더라도 다른 1臺가稼動할 수 있도록 Redundancy를 維持하고 있기 때문에 事故時에도 充分히 對備가 되는 것이다.

셋째 原子爐設備系統은 放射能 物質이나 放射線이 外部로 漏出되지 않도록 多重保護가 되어 있다. 即 核分裂物質 生成源인 核燃料는 棒內에서 被覆材에 쌓여 있으며 原子爐 壓力容器 및 原子爐冷却系統이 이를 密閉하고 있고 그밖에는 1次 콩크리트 遮蔽가 있는데 이 全體를 두께 35mm의 鐵板으로 된 原子爐 格納容器가 둘러쌓고 있는가 하면 그 밖에는 두께 約 70cm의 콩크리트 遮蔽壁이 있어 三重四重으로 保護가 되어 있는 셈이다.

넷째 外氣나 海水로 放出하는 廢棄物의 量은 規定值 보다 훨씬 낮은 값으로 内보내도록 設計되어 있다. 原子力發電所에서 나오는 廉棄物은 固體, 液體, 氣體가 있는데 固體廉棄物은 시멘트로 차폐가 된 드럼통에 담아 倉庫 또는 地下에 永久保存하며, 液體는 海水로 氣體는 大氣로 放出을 하게 되는데, 그 放出許容量은 우리 나라에도 規定值(放射線 障害 防禦令 施行細則)가 있으나 그 몇 萬分之一 程度以下로 낮추어 放出하도록 되어 있다.

其他 非常用 電源이라든가 放射能 監視設備等 安全設備가 많이 있으나 說明은 省略한다. 以上에서 볼 때 原子力發電所는 어느모로 보나 安全하다고 할 수 있겠다.

6. 核燃料週期의 現況

核燃料週期는 原鐵으로부터 우라늄을 採取하여 그를 變換, 濃縮, 成型加工하여 原子爐에서 使用한 後 그것을 再處理해서 原子爐에 再使用하거나 푸루토늄을 抽出하는 過程으로서 각過程에 對한 現況을 說明하고자 한다(그림 4参照)

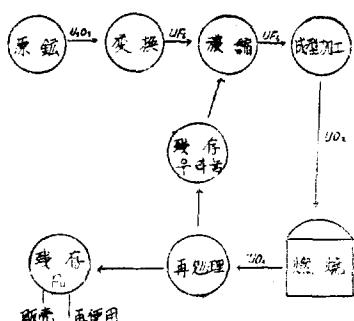


그림 4. 核燃料週期圖

가. 우라늄 原鐵市場

石油波動後 高은 國家들이 電源開發의 主宗으로서 原子力發電을 指하게 됨에 따라 核燃料需要가 急增, 需給에 不均衡이 招來되어 原鐵市場은 販賣者 市場으로 急變하였으며, 따라서 石油波動前에는 파운드當 7~8弗하던 原鐵價가 그後 急上昇하여 不過 3~4年만에 現在는 파운드當 41~42弗線에서 去來되고 있으며 앞으로도 繼續 오를 氣味를 보여 주고 있다. 自由世界 原鐵 매장량은 推定매장량까지 合쳐 現在 約 3百50萬噸으로 보고 있다. 또한 原鐵中 우라늄(U₃O₈)含有量이 0.1%以上이라야 經濟性이 있다고 하는데, 우리나라 忠北地方에 있다는 우라늄鐵은 U₃O₈含量이 그以上인 듯하여 經濟性 有無는 좀더 研究가 必要할 것 같다.

나. 變換

우라늄 原鐵(U₃O₈)中의 大部分은 U-238이고 核分裂에 利用되는 U-235는 含量이 0.7%에 지나지 않으므로 U-235의 含量을 올리기 위한 濃縮過程에 들어가기 위하여 U₃O₈를 UF₆의 가스狀態로 變換하는 過程으로 供給力を 充分하여 變換費는 우라늄 파운드當 2弗程度이다.

다. 濃縮

濃縮方法에는 가스擴散濃縮과 遠心分離濃縮의 두 가지 方法이 있는데 美國에서는 主로 前者를 쓰고 있으며, 現在 美國內에는 民間工場은 없고, 美國政府所有工場만이 있는데, 거의 施設容量限界까지 契約이 完了되어 지금은 契約을 맺지 않고 있다. 古里 1號, 2號 및 原子力 5, 6號機도 美國濃縮工場과 壽命期間동안 契約이 되어 있다. 한편 歐洲의 EURODIF나 URENCO 등도 그 建設確定容量까지 契約完了되어 앞으로의 供給關係가 透明하지는 않으나 近來의 原子力發電所建設趨勢의 鈍化傾向으로 보아 別問題點은 없을 것으로 보인다.

라. 成型加工

成型加工은 濃縮된 우라늄을 原子爐에 넣을 수 있는 形態로 加工하는 것을 말하며 供給市場은 需要量을 充足하고 있고 價格도 지난 數年間 큰 變動없이 安定되었으나 被覆材費 引上으로若干 引上되었다.

마. 再處理

再處理工場現況을 보면 若干의 問題點이 있다. 美國 GE社가 建設한 工場은 技術의 問題로 稼動을 못하고 使用劑燃料를 貯藏만하여 주고 있으며, BARNWELL도 1980年前 稼動은 可望성이 없다. 英國의 BNFL도 既存容量은 契約完了되었고 増設에 對해서는 工場建設投資參與와 固體廉棄物返送等을 條件으로 내걸고 있

다. 따라서豫定대로면 1980年頃부터 再處理를 하여야 될 古里 1號機는 自體의 使用劑燃料 貯藏槽容量을 擴張하여 當分間 再處理함이 없이 約 7~8年間 繼續 貯藏하면서 事態을 觀望할 計劃으로 있다. 特히 요즈음 美國 카ータ大統領政策에 따르면 核擴散防止를 為해 再處理는 當分間 안할 計劃인 것으로 되어 있어 再處理展望은 지금으로서는 어둡다고 볼 수 밖에 없다.

7. 古里原子力發電所 1號機의 現況

1970年 9月 着工한 595,000kW 容量의 古里 1號機는 慶南 梁山郡 長安面 古里 1號機는 慶南 梁山郡 長安面 古里에 位置하고 있고, 1977年 11月 竣工을 目標로 現在 工事が 着着 進行中에 있다. 工事費는 外資 174百萬弗, 內資 143百萬弗로, 計 317百萬弗이며, 借款先은 美國과 英國이고, 原子爐型은 美國 Westinghouse의 加壓水型(PWR)인데, 原子力設備系統은 大部分 美國, 터빈 發電機系統은 主로 英國에서 供給하였다.

現在 工程은 지난 4月 26日 核燃料裝填을 無事히 끝냈고, 5月中旬에 터빈 發電機를 驅動, 6月末부터는 本格的인 試運轉段階로 접어들어 1977年 11月末에 商業運

轉에 들어가 歷史的인 竣工을 보게 될 것이다.

8. 結 言

以上으로서 에너지源으로서의 原子力發電現況에 對해서 考察하여 보았다. 우리 나라의 經濟開發計劃이 成功的으로 遂行되어 가고 있음에 따라 에너지 需要도 急激히 增加되고 있는 形便이며, 1980年代初의 우리나라 總에너지 需要의 約 60%를 占하는 輸入石油가 中東產油國의 標暴 앞에 居服을 하여 언제 또 에너지 需給에 不安定을 가져올지 앞을 猜測할 수가 없는 形便이다. 그러나 以上에서 본바와 같이 石油標暴에 對抗할 수 있는 것은 오직 原子力뿐이라는 것이 나타난 이때 우리나라에서도 今年에 古里原子力發電所 1號機가稼動이 되어 核發電元年을 記錄하게 되었음을 매우 뜻깊은 일이라고 하겠다. 뿐만 아니라 現在 2號機 以後 6號機까지의 原子力 發電所 建設計劃이 確定되어, 1986年末에는 原子力發電 容量이 全發電施設容量의 約 20%를 占하도록 計劃되어 있음은 適切한 判斷이라고 할 수 있을 것 같다. 따라서 비록 放射能物質의 取扱이라는 弱點은 가지고 있다 할지라도 앞으로 原子力의 利用은 더욱 더 發展시켜나가야 할 것으로 믿는다.

大韓電氣學會 計測制御시스템 研究會 開催案內

會員 여러분의 健安하심을 仰祝합니다.

今般 當學會 計測制御시스템 研究會에서는 아래와 같이 第5回(1977年度 第1次)學術發表會를 開催하오니
會員 여러분의 多은 參加 있으시기 바랍니다.

아 래

日 時 : 1977年 6月 24日(金)~6月 25日(土)

場 所 : 蔚山工科大學

● 本 研究會에 관한 相議 및 參加하실분은 學會事務室(Tel. 27-0231)로 連絡바랍니다.

1977年 5月 日

大 韓 電 氣 學 會
幹事長 高 明 三