

原子力發電所의 經濟性과 安全性

—原子力 1號機 竣工에 즈음하여—



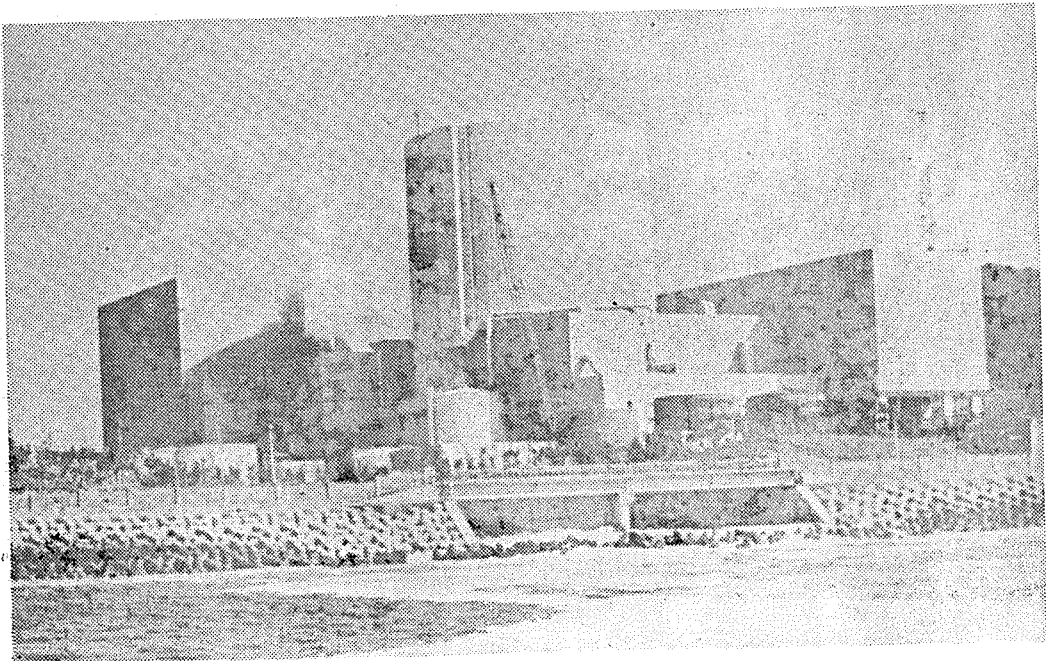
—○韓國原子力研究所 車 宗 熙○—

1. 原子力 1號機 竣工의 意義

우리나라 最初의 原子力發電所가 慶南 梁山郡 古里에 세워져 지난 4월에 試驗運轉을 마치고 建設供給會社로부터 韓國電力이 引受받아 本格的 商業發電에 들어갔다. 이로서 우리나라는 世

界의 原子動力保有國 隊列에 들게 되었으며 運轉開始日의 順으로는 世界 21位, 設備容量의 規模로는 世界 17位の 記錄을 가지게 되었다.

原子力發電所가 在來의 火力發電所와 다른 點은 火力發電所가 보일러를 두어 石油나 石炭을 燃燒시켜 그때 發生하는 熱로 水蒸氣를 얻는 代身 原子爐를 두어 그 안에서 우라늄과 같은 核



古里 原子力 1號機 發電所 全景

原子力發展所의 經濟性과 安全性

分裂性物質을 燃燒, 即 核反應을 일으켜 그때 發生하는 熱에너지를 써서 水蒸氣를 얻는 것이다. 核分裂反應에서 發生하는 에너지, 即 原子力은 우라늄 1그램이 完全히 燃燒되었을 때 石炭 3톤에 相當하는 莫大한 量인 것이다. 原子力發電所는 核燃料, 核反應, 그리고 放射能을 다루게 되어 높은 水準의 技術과 安全性이 必要한 施設로서 이것을 우리 손에 의하여 運營하고 여기서 얻은 知識과 經驗을 바탕으로 後續機를 自力으로 建設할 수 있는 能力을 얻게 된다는 데 큰 意義가 있겠다. 事實 原子力 1號機의 建設事業을 通하여 敷地選定서부터 建設의 各工程, 安全性檢討, 試運轉의 各 段階를 通하여 貴重한 經驗과 資料를 蓄積한 바 있는 것이다.

오늘날 에너지源의 大宗인 石油은 消費節約의

強化와 價格上昇에도 不拘하고 減지 않아 供給이 需要를 따르지 못하게 될 것이며 따라서 不足分은 代替에너지로서 充當되어야 할 것이다. 더우기 우리나라는 賦存에너지 資源이 貧弱하여 輸入에 의한 石油의 依存度는 해마다 增加되고 있어 代替에너지源의 開發, 導入은 時急한 實情이다. 原子力發電은 經濟性과 安全性이 立證된 代替에너지의 重要한 供給源으로서 將次 世界의 電力供給에서 큰 占有率을 차지할 것으로 豫測되고 있다. 原子力 1號機의 稼動은 石油의 依存度를 減少시킬 수 있는 代替에너지 確保의 契機를 마련하였다는데 또하나의 意義가 있다고 본다.

1960년에 施設容量이 367MWe에 不過했던 우리나라의 電力設備은 3회에 걸친 經濟開發 5個

表 1. 世界原子力發電所設備容量(單位 MWe)

國 名	運 轉 中		建 設 中		計	
	出 力	基 數	出 力	基 數	出 力	基 數
1 美 國	50,872	68	106,079	94	15,951	162
2 英 國	8,840	33	3,984	6	12,824	39
3 蘇 聯	8,171	21	14,800	17	22,971	38
4 日 本	7,994	14	9,141	10	17,135	24
5 西 獨	7,324	11	15,495	14	22,819	25
6 프 랑 스	4,872	12	23,368	24	28,240	36
7 카 나 다	4,216	8	5,101	8	9,317	16
8 스 웨 덴	3,910	6	5,978	6	9,888	12
9 벨 기 에	1,740	3	3,902	4	5,642	7
10 스 페 인	1,120	3	13,543	14	14,663	17
11 스 위 스	1,054	3	3,170	3	4,224	6
12 東 獨	960	3	1,760	4	2,720	7
13 불 가 리 아	880	2	880	2	1,760	4
14 이 탈 리 아	659	3	3,902	5	4,561	8
15 印 度	640	3	1,160	5	1,800	8
16 네 델 란 드	535	2			535	2
17 핀 란 드	440	1	1,822	3	2,262	4
18 아 르헨 티 나	340	1	648	1	988	2
19 체 코	143	1	1,760	4	1,903	5
20 파 키 스 탄	137	1			137	1
21 韓 國	587	1	3,228	4	3,815	5
22 自 由 中 國	636	1	2,606	3	3,242	4
23 이 其 他			2,856	2	2,856	2
總 計	106,070	201	7,773	11	7,773	11
			232,686	244	338,756	445

年計劃에 따른 經濟成長과 工業化過程에서 括目할 成長을 이룩하여 1977年末에는 6,587MWe에 達하고 있다. 지난 17年間の 電力設備은 18倍로 늘어났고 發電容量의 增加率은 18.5%에 이르고 있다. 앞으로의 우리나라의 電力需要는 國民生活의 向上과 重化學工業의 발달로 繼續增加할 것으로 最近의 電源開發計劃試案에 의하여 2000년까지의 電力需要增加는 11%이며 2000年の 電力容量은 約 73,000MWe에 達할 것으로 推定하고 있다. 그 中 原子力發電의 比重은 커서 1991년까지 15機運轉에 施設容量은 約 14,000 MWe*, (*長期經濟社會發展 1944, 91年, 韓國開發研究院 1977. 11) 2000년까지 44機運轉에 約 48,000 MWe 容量을 計劃하고있는데 이것은 總發電 施設容量의 約 65%를 차지하는 것이다. 現在 原子力 2, 3號機가 建設 中에 있고 原子力 4, 5號機가 工事着手를 서두르고 있으며 原子力 6, 7號機도 入札準備 中에 있어 바야흐로 原子力發電時代에 접어든 感을 준다. 이와 같은 本格的 原子力發電時代의 嚆矢로서 原子力 1號機의 竣工은 자못 意義가 크다 할 것이다

2. 原子力發電의 經濟性

原子力發電은 높은 建設費에도 不拘하고 낮은 燃料費 때문에 在來式發電과 競爭이 되어 왔다. 더우기 에너지 波動以後의 石油價格의 昂騰 때문에 오늘날 原子力發電은 火力發電에 比하여 그 經濟性이 크게 有利해졌다.

發電所의 經濟性比較는 發電單價의 比較로서 可能하다. 發電單價는 發電所의 竣工豫定年으로 換算된 事業投資費와 諸費用을 償還하기에 充分한 收益을 發電所壽命期間 동안의 總發電販賣量으로부터 얻을 수 있게 한 電力販賣單價(mills/kWh)로 表示하고 있는데 電力販賣價格을 一定한 값으로 固定시키지 못하므로 發電單價는 發電所의 經濟性을 比較하는 尺度가 되는 것이다.

發電單價에 크게 影響을 주는 主要因子는 3가지로서 ① 建設費, ② 燃料費, 그리고 ③ 運轉補修費이다. 原子力發電의 경우, 가장 큰 影響을 주는 것은 建設費이며, 또한 建設費에 影響

을 주는 因子는 發電所稼動率(capacity factor)이다. 다음에 發電單價를 기준으로 原子力發電과 火力發電의 經濟性을 比較해 보기로 한다.

建設費는 크게 直接費와 間接費로 2分되는데 直接費에는 敷地, 建物, 構造物, 機器裝置, 豫備品 등에 要하는 費用이고 間接費에는 建設 中의 엔지니어링 및 諸管理費가 包含된다. 一般적으로 單位出力容量當 建設費는 發電所容量이 클수록 低廉해지며 同一敷地內에 多數機를 設置할수록 낮아진다. 또한 建設費는 技術의 進歩와 裝置의 標準化에 따라 低下될 수 있다. 그러나 原子力發電所의 경우, 安全施設의 強化, 建設期間의 延長, 安全規制強化로 因한 認許可節次의 複雜, 賃金 및 物價昂騰 등으로 最近에 上昇勢를 보여주고 있다. 火力發電所의 경우도 環境保護 規制強化에 따른 施設의 強化, 機資材價 및 勞賃의 上昇 그리고 工期의 遲延 등으로 建設費增加를 招來하고 있다. 우리나라에서 發電所建設에 必要한 現場勞動力과 機資材를 國産化한다면 勞賃에 의한 建設費節減效果는 가져올 수 있을 것이다.

原子力發電所의 경우, 原子爐型에 따라 建設費의 差異가 얼마간 있을 수 있다. 오늘날 實證되고 있는 爐型으로서 加壓水型과 沸騰水型의 輕水型爐와 加壓重水型爐가 있는데 加壓重水型爐는 輕水爐型에 比하여 重水費가 包含되어 約 30%程度 建設費가 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 重水型爐의 경우 天然우라늄을 使用할 수 있어 燃料費에서 有利한 點이 있는 것이다. 大體로 發電所의 單位出力當 建設費의 觀點에서 施設容量의 크기에 따라 變化하는데 例를 들어 原子力發電所의 경우 1,300MWe容量의 建設費는 600MWe容量의 建設費와 이것의 50~75%를 더한 經費로 節減된다 하며 또 同一敷地에 2機 同時 建設하는 경우도 各機 따로 建設하는 것보다 1機에 대한 經費의 15%可量 節減되는 것으로 알려져 있다. 發電所의 發電에 對한 資本費는 發電單價를 稼動率로 나눈 값에 比例하므로 稼動率도 經濟性에 크게 影響을 준다. 여기의 稼動率이라 함은 完全 稼動될 때 生産可能한 發電量에 對한 實際 生産한 發電量을 말한다. 發電所의 建

設費는 建設運營方式, 即 턴키이方式에 따라 變할 수 있을 것이다.

發電單價에 큰 影響을 주는 因子의 하나는 燃料費이다. 核燃料의 價格에 影響을 주는 要因으로는 富라늄精鍊費, 濃縮費, 成型加工費, 再處理費 및 輸送費 등을 들 수 있다. 그 中 再處理는 美國이 主導하는 核擴散禁止政策에 따라 禁止를 懲瀆하고 있다. 重水型發電所의 경우는 天然富라늄을 使用하므로 濃縮過程이 省略되어 低廉해진다.

富라늄原鍊價의 上昇은 明白히 核燃料費의 上昇을 가져오나 發電單價에는 決定的 影響을 주지 않는다. 富라늄價格은 需給狀況에 따라 變動될 것이나 埋藏量 發見이 年次的으로 增加되고 있어 當分間 安定勢를 維持할 것 같다. 濃縮費는 核燃料의 3分の 1을 占하고 있으며 現在 우리나라의 경우 全的으로 美國에 依存하고 있는 實情이다. 事實 美國은 商業的으로 全自由世界에 濃縮富라늄서비스를 하고 있는 것이다. 美國에 있어서의 濃縮富라늄서비스는 最近 特히 流動的이며 濃縮料金은 引上을 거듭하고 있다.

原子力發電所의 運轉保守費는 人件費, 保守資材費, 雜費, 行政管理費 등이 包含된다. 原子力發電所의 從事人員數는 1機當 美國의 경우 約 100名으로 보고 있으나 우리나라의 경우는 經驗不足 등을 勘案하여 150名 程度가 必要할 것으로 보고 있다.

다음 表는 原子力研究所에서 1975年에 原子力發電과 火力發電과의 經濟性을 比較하기 위하여

1,000MWe容量으로 1984年에 稼動될 것을 假想하여 發電單價를 試算해 본 것이다. 이 表에서 보는 바와 같이 原子力發電所, 石炭專燒發電所, 石油專燒發電所의 順으로 經濟性이 有利함을 알 수 있다.

3. 原子力發電所의 安全性

原子力發電所는 核分裂性物質을 燃料를 使用하고 있기 때문에 때로 그 安全性을 憂慮하게 된다. 그러나 結論的으로 말해서 오늘의 原子力發電所는 높은 安全性을 가지고 있는 것이다.

原子力發電所는 固有的 安全性이 있어 原子爆彈과 같은 爆發은 일어나지 않는다. 原子爆彈 구실을 하려면 富라늄 235나 플루트늄과 같은 核分裂性物質이 近 100%로 濃縮되어 있어야 하는데 原子力 1號機와 같은 輕水型爐에서 使用하는 核燃料는 約 2~3%程度이며 重水型爐에선 겨우 0.7%包含된 天然富라늄으로 만들어져 있으므로 잘못 다루어도 一時에 爆發하는 일은 있을 수 없는 것이다.

우리가 念慮하는 것은 原子力發電所에서 核燃料의 燃燒時 生成되는 放射能에 의한 災害이다. 2酸化富라늄과 같은 核燃料가 核分裂을 일으키면 莫大한 熱에너지와 放射能이 生成되는데 燃燒時 冷却이 正常的으로 이루어지면 熱에너지는 除去되고 大部分의 放射能은 燃料體內에 殘留된다. 그러나 어떤 事故로 冷却이 제대로 않된다면 燃料體는 溫度가 異狀的으로 上昇되고 溶解

表 2. 火力發電所 및 原子力發電所의 平均發電單價

項 目	石油發電所		石炭發電所		原子力PWR	
	發電單價 mills/kwhe	%	發電單價 mills/kwhe	%	發電單價 mills/kwhe	%
建設投資費	12.5651	18.0	14.1348	33.4	19.3075	56.8
運轉補修費	1.0854	1.6	2.0072	4.7	1.5681	4.6
運轉資本費	0.0673	0.1	0.1236	0.3	0.1038	0.3
小計	13.7178	19.7	16.2656	38.4	20.9794	61.7
燃料費	56.1538	80.3	26.1047	61.6	13.0405	38.3
計	69.8716	100.0	42.3703	100.0	34.0199	100.0

* 1mill=0.001\$

資料: 原子力發電系統研究, 韓國原研 1976

— 原子力 1號機 竣工에 즈음하여 —

되어 放射能이 外部로 流出될 수 있다. 그래서 原子力發電所는 어떠한 事故가 일어나더라도 放射能이 새어나와 周邊 公衆에게 害를 주는 일이 없도록 設計되어 있는 것이다.

첫째 原子力發電所는 多重防護의 理念아래 放射能에 대하여 여러겹이 防壁을 치고 있는 것이다. 普通 燒結體의 燃料要素는 金屬製의 被覆管 內에 들어 있어 이 被覆體가 첫번째 防壁이 된다. 多數의 燃料棒들은 集合體로 하여 두꺼운 金屬壁을 가진 壁力容器(또는 壓力管)에 收容되는데 이 壓力容器는 두번째 防壁이 될 것이다. 또한 이 壓力容器는 金屬板과 콘크리트壁으로 構成된 格納容器안에 格納되어 세번째 防壁을 가지게 된다. 그래서 어떤 事故로 核燃料體가 溶解되더라도 세계적으로된 防壁을 뚫고 밖으로 새어 나가는 일은 거의 있을 수 없는 것이다.

둘째는 어떤 事故로 冷却機能을 잃어도 別途로 마련한 非常用 冷却裝置를 稼動하여 燃料體의 過熱과 溶解를 未然에 防止할 수 있는 여러 가지 安全裝置가 準備되어 있는 것이다.

세째는 原子力發電所의 原子爐系統 中 安全에 敏感한 機器들은 2重으로 構成하여 一部機器에 故障이 생겨도 마련된 豫備部分이 代替作動되어 支障이 없도록 設計되어 있으며 機器나 裝置의 故障時는 即刻 檢知되어 原子爐의 運轉이 停止되도록 細密한 回路가 形成되어 있는 것이다.

이와 같은 原子力發電所의 安全裝置의 設計는 建設許可以前에 政府의 規制機關에서 綿密히 檢討하여 完備토록 規制하고 있으며 建設期間 中에도 設計대로의 工事が 이루어지고 있는지 如否를 隨時點檢하고 또한 使用하는 機器들의 品質도 保證토록 督勵하게 되어 있다.

美國의 MIT의 教授인 라스무센博士는 1975年 그의 “原子爐安全研究”라는 報告書에서 原子力發電所 100機가 100名以上の 死亡者를 낼 수 있는 確率은 10萬년에 한번 있을 수 있고 1,000名以上 死亡者를 낼 수 있는 確率은 100萬년에 한번 있을 수 있는데 이것은 隕石이 落下하는 事故와 같이 極히 稀有한 일이라고 原子力發電所의 安全性을 強調한 바 있다. 다음 表는 同報告書에 收錄된 여러가지 原因에 의한 死亡確率을

表 3. 主要人爲 및 自然事故의 平均確率

事故原因		100名以上の 死亡者가 나올 確率	1,000名以上の 死亡者가 나올 確率
人爲	航空機墜落	2年에 1回	2000年에 1回
	火災	7年에 1回	200年에 1回
	爆發	16年에 1回	120年에 1回
自然	有毒가스	100年에 1回	1000年에 1回
	회오리바람	5年에 1回	極少
	허리케인	5年에 1回	25年에 1回
自然	地震	20年에 1回	50年에 1回
	隕石落下	100,000年에 1回	1,000,000年에 1回
原子力發電所 100基		10,000年에 1回	1,000,000年에 1回

原子爐事故와 比較한 것으로 原子爐事故와 比較한 것으로 原子爐 事故에 의한 死亡確率이 얼마나 稀有한가를 보여주고 있다.

맺 은 말

우리나라는 賦存에너지資源이 크게 不足한 環境에서 急速한 鑛工業成長을 必要로 하고 있다. 이러한 鑛工業成長을 可能케 하는 動力의 代替供給源으로서 오늘날 原子力 以外에서 選擇할 수 있는 現實이다.

石油價의 昂騰으로 原子力發電은 그 經濟性이 다른 어느 에너지源에 의한 發電보다도 有利하며 原子力發電의 安全性도 確保되어 있다. 그래서 政府는 2000년까지의 意慾의인 原子力發電計劃을 세우고 있으며 이미 그 첫번째 發電所가 竣工, 稼動되고 있는 것이다.

그러나 이러한 原子力發電計劃을 推進하는데는 解決해야 할 일들이 많이 가로 놓여 있다. 適格한 敷地의 確保, 所要人力의 養成, 核燃料源 確保, 機資材의 國産化 등이 그것이다. 特히 人力의 養成은 一朝一夕에 이루어질 수 있는 일이 아니므로 리이드 타임을 考慮하여 지금부터 強力히 推進되어야 할 것이며 또한 核燃料 없이 發電所는 움직일 수 없으므로 海外의 核燃料資源開發에 積極의 努力이 傾注되어야 하겠다.

(筆者 한국원자력연구소 부 소 장)
한국공기조화냉동공학회 회장)