

〈特別寄稿〉

# 原子力發電의 經濟性提高方向에 對한 小考

*An Approach to the Economic  
Betterment of Nuclear  
Power Generation*



辛 基 祚  
(大韓엔지니어링(株) 會長  
韓國原子力産業會議 個人會員)

## I. 序 論

原子力發電所의 經濟性이 世界各國에서 論議되고 있는바, 이것은 對石炭火力發電 優位性을 論하는 것이다. 우리나라에서도 이에 至大한 關心을 갖고 銳意檢討가 이루어지고 있으며, 斷片的이기는 하나 原子力發電의 經濟性 提高方案이 마련되어 原子力 後續機의 建設에 適用될 것이다.

世界的 原子力發電 保有國家들은 이를 大別하면

- 1) 原子力發電의 經濟的 優位를 確信한다,
- 2) 原子力發電原價를 低減시켜, 確固한 優位性을 찾으려는 두가지로 볼 수 있다.

다른 表現方式을 쓴다면 原子力發電에는 技術的 研究를 推進하면, 發電原價를 低減할 수 있는 余地가 多分히 있다는 것이다.

우리나라는 資源이 없는 나라이면서도 電源開發을 推進해야만 하는 處地에서 原子力發電에도 依存해야 하는 만큼 原子力發電의 經濟性을 慎重히 다루어야 한다. 이에 最近에 發表된 여러 研究結果를 中心으로 整理하여 衆智를 모아 올바른 方向을 設定해야 한다고 생각한다.

## II. 原子力發電의 經濟性 發表

OECD의 原子力廳에서는 1983年 原子力과 石炭火力發電의 發電原價를 比較하였고, 이어서 核燃料週期の 經濟性을 評價한바 있다. 이에 依하면, 大部分의 OECD國家들에서 原子力發電은 石炭火力發電에 比해 發電原價가 低廉한 것으로 밝혀졌다.

表1에서 보는 바와 같이 유럽이나 日本에서는 原子力이 相當히 優位에 있음을 알 수 있다. 또 美國과 캐나다의 경우는 그나라 地域에 따라 相異하다는 것을 알 수 있다. 美國의 경우 割引率을 10%로 前提했을때만 石炭火力發電原價가 原子力에 比해 低廉한 것으로 나타난다.

또한 같은 OECD에서 發表한 資料를 引用하

〈表 1〉 Summary of Levelised Discounted Electricity Generation Costs

(mills per kWh at Jan. 1st 1981)

Country	Nuclear (D. R. 5%)				Coal (D. R. 5%)				Ratio Coal/Nuclear	
	invest-ment	Opera-tion	Fuel	Total	invest-ment	Opera-tion	Fuel	Total	D. R. 5%	D. R. 10%
Belgium*	16.4	7.4	3.8	32.6	7.7	4.2	33.6	45.5	1.39	1.14
Canada <sup>a)</sup>	12.3	2.1	3.6	18.0	7.4	3.2	15.1	25.7	1.42	1.14
France*	13.2	4.7	9.0	26.9	10.8	3.8	32.5	47.1	1.75	1.50
Germany* F. R.	20.5	6.4	10.7	37.3	10.3	7.8	43.1	61.2	1.64	1.31
Italy*	12.9	2.9	10.1	25.9	7.3	2.5	30.9	40.7	1.57	1.30
Japan	17.4	6.1	9.9	33.4	12.3	5.5	32.6	50.4	1.51	1.25
Netherlands	20.9	4.8	13.2	38.9	10.3	5.3	34.8	50.4	1.29	1.09
Norway	16.4	5.7	10.1	32.2	10.7	5.6	29.5	45.8	1.42	1.17
Sweden	22.7	5.8	11.0	39.5	10.9	6.4	35.6	52.9	1.33	1.09
United Kingdom	37.0	4.4	12.1	53.5	22.5	4.5	49.6	76.6	1.43	1.18
United States <sup>b)</sup>	24.0	4.8	8.7	37.5	13.4	4.8	19.7	37.9	1.01	0.81

Note : -The figures for different countries are not directly comparable.

-Excluding taxes and similar charges.

\*Columns extracted from UNIPEDE, for Federal Republic of Germany only nuclear.

a) Figures for Central Canada.

b) Mid-case projection for Chicago (mid-west region). The investment component for nuclear and coal plants includes a cost to refurbish and/or rebuild major equipment, a so-called "interim investment," in the 15th year of operation.

여 1990년에稼動을 開始할 發電所의 發電原價를 推定한 것을 보면 表 2와 같다. 이 表에서도 美國의 中西部地域을 除外하고 모든 나라에서 原子力發電이 石炭火力發電에 比해 經濟的 임을 알 수 있다. 이제 各國의 事情을 좀더 자세히 알아보기로 하자.

**美 國** 1984年11月12日 美國原子力産業會議(AIF) 年次大會에서 發表된 바에 따르면, 1990년에 運轉開始되는 原子力發電所는 平均標準工期內에 竣工이 된다고 할때 大部分의 地域에서 原子力の 發電原價가 石炭火力發電原價보다 8~38% 저렴하다고 한 그룹의 調査結果를 發表하였다. 이 그룹은 原子力 1,200MW×2基와 800MW×3基의 火力發電의 建設費 등을 調査하였고, 東南部에서 原子力發電이 가장 有利하다고 發表했다.

그러나 美國은 原子力發電所 建設問題를 놓

고 相當히 苦悶하고 있다. 1985年4月9日 開催된 日本原子力産業會議 第18次 年次大會에서 美國의 上院議員 J. Bennet Johnston氏의 發表內容이 이를 잘 說明해 주고 있다.

그는 말하기를 "最近 美國의 Edison 電力研究所에서는 現在와 같은 制度와 規制下에서는 어느 美國의 電力會社도 原子爐의 新規發注를 하지 않을 것이라고 發表했다"는 것이다. "왜냐하면 發電所를 새로 建設하면 既存 發電所보다 效率이 좋아 언제나 經濟的 利得을 보아왔다. 그래서 規制當局은 이 利得을 電力會社만이 차지할 것이 아니라 需用家가 支拂하는 電力料金에 反映되도록 規制하는데 힘을 기울여왔다.

그러나 TMI事故後 原子力發電所는 電力會社를 破産地境으로 몰고 갈 만큼 威脅의인 存在로 둔감하였다. 앞으로 2年後에 完功될 Nine

〈表2〉世界 主要國家의 原子力 對 石炭發電 經濟性 比較 (1990年度 稼動)

發電原價 國別	原子力 (¢/KWH)	石炭 (¢/KWH)	比較 (石炭/原子力)	備考
美國	6.67	5.41	0.81	中 西 部 地 域 基 準
카나다	3.36	3.81	1.13	
日本	4.04	5.03	1.25	
프랑스	2.69	4.02	1.49	
西獨	4.22	5.53	1.31	
이탈리아	2.90	3.77	1.30	

\* 資料 : OECD (經濟協力開發機構) 報告書 ('84. 4)  
\* 國家別 經濟與件 相異로 各國間의 比較는 意味 없음.

Mile Point原子力發電所의 發電原價는 무려 18¢/KWH로 既存 原子力, 火力發電所의 5倍의 값이 된다. 그렇게 되면 電氣會社는 電力料金を 引上해야 하는데, 이는 거의 不可能하기 때문에 會社는 破産에 이르게 되는 것이다.

美國은 原子力에서 石炭火力으로 옮겨가는 것이 아니고, 新規發電所의 建設을 拒否하고 있는 現狀이다. 그런데 電力需要는 적으나마 增加하고 있어서 10年이 지나면 電力供給의 不足 現象이 나타날 것을 憂慮한다"고 말하고, 結言에서 "우리는 原子力을 擇하느냐? 아니냐? 나 自身은 原子力이 必要하다는 對答이 나올 것을 確信한다"고 마무리 지었다.

安全性確保를 爲하여 甚한 當局의 規制가 이와 같은 狀況까지 물고 왔으니, 原子力發電의 宗主國인 美國의 앞으로의 方向이 크게 注目된다.

**프랑스** 프랑스의 國營電氣會社인 EDF는 1984年度 各電源別 發電原價를 公表하였다. 表3에서 보는 바와 같이 原子力發電原價는 0.1722FF(平均稼動率 74.8%)로서 이는 石炭火力의 約折半에 該當하며 1983年度보다 約5% 저렴하다.

한편 火力發電原價는 0.42FF으로 原子力發電의 2.5倍가 된다. 1984年은 1983年에 비해

〈表3〉1984年度 發電코스트實績

(Centimes/KWH)

	運轉費	資本費	燃料費	合計
900 MW PWR	2.28	7.78	6.87	16.93
其他爐	6.58	4.00	10.08	24.54
原子力平均				17.22 (약13.8원)
石炭火力	6.88	9.10	17.98	33.96
重油火力	22.57	53.32	47.39	123.28
火力平均				42.90 (약34.8원)

〈表4〉電源別 發電原價比較

(初期1年分)

電源別	建設單價 (萬円/KW)	送電端 發電原價(円/KWH)	基準	
			容量(MW)	利用率(%)
一般水力	61	20	10~40	45
石油火力	13	17	600×4	70
LNG火力	18	17	600×4	65
石炭火力	23	14	600×4	70
原子力	30	12.5	1,100×4	70

稼動率이 向上되어 原價의 低減을 가져왔다. 重油火力이 워낙 高價이어서 火力平均과 比較하는 것보다 石炭火力과만 比較해도 PWR인 경우는 約折半밖에 되지 않는다. 原子力發電을 果敢히 推進하는 프랑스의 方向을 理解할 수 있을 것 같다.

1985年 第5次 PBNC에서 發表된 바에 依하면, 1992年 運轉(基底發電負荷用)될 發電所의 發電原價는

原子力 : 0.227FF/KWH

石炭火力 : 0.35 "

油火力 : 0.75 "

로 原子力發電所의 優位性을 보여주고 있다.

**日本** 1983年을 前後하여 竣工되는 發電所를 基準으로한 種別 建設單價 및 發電原價를 通産省에 依해 모델計算한 것을 發表하였는데 表4와 같다.

이는 같은 方法으로 算出한 1982年度分에 비해

면 原子力發電과 石炭火力發電의 差는 3円/K-WH에서 1.5円/KWH로 줄어들었다. 이는 주로 原子力發電所의 建設費 上昇에 起因한다. 그래서 核燃料의 Back End Cycle Cost를 加算하면 石炭火力의 經濟性이 優位하다고 보는 傾向도 있다. 또 같은 計算을 1984에 試圖해서 그 結果를 表示하면 表 5 와 같다.

原子力發電所의 初年度 發電原價는 가장 經濟的인 것으로 認定되기는 하지만 前年의 計算結果와 比較해 볼때, 原子力發電所 建設費의 上昇으로 因해 發電原價는 0.5円 上昇했으며, 石炭火力發電은 建設費 上昇과 燃料費의 低下가 相殺되어 原子力과 石炭火力의 差는 1円 程度로 縮小되었다. 그러나 長期的으로 볼때 化石燃料의 價格이 上昇할 것이므로 앞으로도 原子力發電의 優位性은 維持된다는 것이 通産省의 見解이다. 그래서 原子力發電原價를 低減하기 爲해 모든 努力을 傾注할 것을 強調하고 있다.

1984年3월에 Institute of Energy Economics 에서 研究發表된 것이 있다. 이 研究所에서는 2000년에 運轉을 開始하는 原子力, 石炭火力發電所들에 對해서 燃料費파라미터를 高, 中, 低 세가지 경우와 円貨價値의 高, 低 두가지 경우 즉, 合해서 여섯가지 경우에서 發電原價를 比較하여 表 6 과 같이 發表하였다.

表에서 보는 바와 같이 여섯가지 모든 경우에서 原子力發電이 石炭火力發電에 比해 經濟的으로 有利함을 알 수 있다. 가령 建設費 10% 節減이 實現되지 못하고, 核燃料의 Back

End Cost가 加算되더라도 原子力이 有利하다. 日本에서는 이와 같이 原子力發電의 優位性을 發表하고 있으며, 近來에 Public Acceptance도 점차로 原子力發電所의 建設을 肯定的으로 받아들이는 傾向에 힘입어 果敢히 原子力發電所의 建設을 推進하며, 原子力發電所의 經濟性을 提高하기 爲하여 여러가지 研究·開發을 서두르고 있는 것이다.

**台 灣** 表7은 第5次 PBNC에서 臺灣電力에 依해 發表된 것이다. 原子力發電이 石炭火力發電에 比해 越等히 經濟的임을 보여주고 있다.

過去 5年間 臺灣電力公社의 Earning(After Tax)을 보면

1980年 : 283×10<sup>6</sup> U. S. D  
 1981年 : 489×10<sup>6</sup> "  
 1982年 : 325×10<sup>6</sup> "  
 1983年 : 430×10<sup>6</sup> "  
 1984年 : 620×10<sup>6</sup> "

이며, 이는 大部分이 原子力發電의 好調에서

〈表 6〉 發電原價比較(原子力/石炭火力)

(2000年 送轉開始, 利用率 70%)

Case	Nuclear Power		Coal Fired	C/A	C/B
	A	B			
Fuel Cost			C		
High	23.23	26.62	35.56	1.53	1.34
Middle	23.23	26.60	33.07	1.42	1.24
Low	20.21	23.32	29.20	1.44	1.25

NOTE 1. YEN/\$ - 238/1

2. A-Case of 10% Construction Cost Reduction
3. B-Case of No Construction Cost Reduction, 20% of Construction added as Decommissioning Cost, 2% of Power Generation Cost added for Redwaste Management Cost (Nucler Power Cost Highest)

資料: Future Supply/Demand Situation of Power Plant Fuel by Institute of Energy Economics

〈表 5〉  
 比較 電源別 發電原價 (1984年度)

	建設單價 (萬円/KW)	送電端發電原價 (円/KWH)
一般水力	63	21
石油火力	14	17
石炭火力	24	14
LNG火力	19	17
原子力	31	13

〈表7〉 Unit Production Cost

(US mill/kWh)

	FY 1982*				FY 1983				FY 1984			
	Nu-clear	Oil-fired	Coal-fired	Hydro	Nu-clear	Oil-fired	Coal-fired	Hydro	Nu-clear	Oil-fired	Coal-fired	Hydro
Fuel	4.00	48.22	34.52	—	4.83	49.76	34.91	—	5.21	43.65	33.16	—
Depreciation	7.74	2.78	3.84	4.03	7.04	4.28	5.69	3.30	7.03	3.60	4.33	5.32
Maintenance	1.73	0.76	2.04	1.69	2.40	1.22	2.11	1.48	2.39	1.08	1.48	3.00
Others	1.56	0.70	1.53	2.64	1.31	0.87	2.55	2.53	1.48	0.77	1.58	4.40
Interest on Long terms Loans	4.14	1.33	1.27	2.98	4.97	2.75	2.95	3.27	5.38	2.39	2.64	5.61
Back-end Cost	3.19				3.13				3.18			
Total	22.36	53.79	43.20	11.34	23.68	58.88	48.21	10.58	24.67	51.49	43.19	18.33

Calculation Bases of Nuclear Production Cost :

1. Depreciation and back-end costs are estimates. All other data are actual records.
2. Interest accrued from TPC Fund during the construction period is included in depreciation cost and estimated on the basis that interest represents 21% of depreciation cost and TPC Fund represents 28% of the total construction cost.
3. Betterment cost is also included in depreciation.
4. Depreciation of nuclear power facilities is calculated on basis of the depreciation rate of 5 % per annu.
5. Back-end cost is estimated NT \$ 0.1260/kWh and converted to US Mills according to different exchange rates of various years.

\* FY 1982 : July 1, 1981 - June 30, 1982

FY 1983 : July 1, 1982 - June 30, 1983

FY 1984 : July 1, 1983 - June 30, 1984

얻어진 결과이어서 1983년3월에는 電力料金を 3.59% 引下하기 까지 하였다.

臺灣電力의 竣工이 가까운 Maanshan 5·6號機의 建設費는 1,200~1,300 \$/KW이어서 美國의 1,500~2,000 \$/KW보다 低廉하며, 利用率 向上에도 꾸준히 努力한 結果 이와 같은 成果를 올린 것을 自負하면서 앞으로 새로운 電源의 追加가 必要할때에는 서슴치 않고 原子力發電을 挾할 것을 公言하고 있다. 參考로 年度別, 臺灣電力公社의 發電種別 原價를 表示하면 表 8과 같다.

**韓 國** 1983년에 完工된 原子力, 石炭火力發電所의 建設費, 發電原價를 表示하면 表 9와 같다.

지금까지 살펴본 나라들중에서 原子力發電이 石炭火力發電에 비해 不利하게 나타난 첫번째 경우이다. 따라서 原子力發電所의 建設을 再檢討하기에 이르렀다. 그러나 이 表는 다음과 같은 理由에서 結果된 것이다.

- 1) 建設單價의 경우 原子力은 1-PWR, 1-CANDU 單一基인데, 石炭火力은 2基式이다.
- 2) 1973年 석유과동으로 原子力發電所의 建設은 甚한 인플레이(年 17%)의 영향을 받았으며, 換率도 ₩/\$485에서 775로 上昇하였다.
- 3) 核燃料費는 最高價가 適用되었다.
- 4) 火力發電에는 Scrubber의 設置費를 不考慮하였다.

이와 같은 이유로 原子力發電의 原價가 石炭火力에 비해 高價로 計算되었으나, 上記한 要因을 勘案하여 再檢討한 結果는 表 10과 같아서 역시 原子力發電側이 有利한 것을 알 수 있

〈表 8〉 Taipower Generation Cost  
(US mills/kWh)

Power Plant Year	Oil fired	Coal fired	Nuclear	Hydro	Ave. Cost
1984	56.8	44.6	24.2	20.9	36.9
1983	54.9	46.4	20.5	15.6	37.8
1982	58.4	46.2	21.8	16.6	43.4
1981	52.7	42.2	16.6	14.5	40.2
1980	43.9	31.5	13.2	19.1	36.9

資料 : Accounting Report Jan. 1985, Taipower  
Cost Represent Calendar Year (Jan.-Dec.)

〈表 9〉 原子力, 石炭火力發電所의 建設費 및 發電原價 比較

(1983年 完工)

發電所 項目	原子力 2号機	原子力 3号機	三千浦 火力	高 亭 火力
容 量 MW	650	678.7	560×2	500×2
建設費 \$/KW	1,441	1,591	638	680
發電原價 ¢/KWH	4.58	4.39	3.92	4.04

資料 : 第6次 KAIF/JAIF Seminar

다. 또한 현재 건설중인 原子力發電所의 發電原價推定値를 表示하면 表11과 같다.

以上에서 美國을 비롯, 프랑스, 日本, 臺灣, 우리나라의 近來에 發表된 資料를 바탕으로 原子力發電 對 石炭火力發電의 原價를 比較해 보았다. 물론 나라마다 事情이 相異하며, 推定前提條件 등이 다르므로 國家間의 比較는 意味가 없다. 뚜렷한 것은 프랑스, 臺灣에서는 原子力發電의 經濟的 優位性에 對해 疑心의 余地없이 確固한 開發方向이 設定되어 있고, 美國은 當장은 不透明하지만 早晚間 原子力發電의 經濟性 回復이 可能視되며, 日本의 경우는 原子力發電의 優位性을 確保하기 爲한 一層의 努力을 傾注한다는 方向設定을 알 수 있다. 우리나라는 이제까지 發表된 資料만으로는 약간 不確實하나, 에너지資源이 거의 없는 나라로서 原子力開發은 不可避할 것이라고 생각되므로 앞으로 어떻게 Cost Down을 期하느냐가 重要한 課題이다.

〈表 10〉 Estimated Construction and Generating Cost for Various Fuel Type Plant

Item Fuel	Capaci- ty(MW)	Construction Cost(\$/KW)	Generation Cost (¢/KWH)		
			Fixed Cost	Fuel Cost	Total
Bunker Oil	500	615	1.66	5.09	6.75
Bituminous Coal	500 900	902 782	2.71 2.35	2.16 2.05	4.87 4.40
Nuclear	900	1,412	3.57	0.78	4.35

- Note 1. Construction Unit Costs are based on 1983 Price, inclusive of Interest.  
2. Fuel Costs are based on 1983 Price.

〈表 11〉 Estimated Generation Costs for Nuclear Power Plants under Construction

Item Plant	Capacity (MW)	Generating Cost ¢/KWH			Completion Date
		Fixed Cost	Fuel Cost	Total	
KNU 5·6	900	3.11	0.99	4.10	NO. 5-9/85 NO. 6-6/86
KNU 7·8	900	3.60	1.06	4.66	NO. 7-3/86 NO. 8-3/87
KNU 9·10	900	4.00	1.43	5.43	NO. 9-9/88 NO. 10-9/89

- Note : 1. Generating Costs are based on the year of completion.  
2. Fuel Costs are based an price of march, 1983, with 8% annual escalation applied.  
3. Initial Fuel Cost excluded.  
4. Decommissioning Cost not included.

多幸히 近來의 여러가지 研究報告에 따르면, 原子力發電은 技術開發에 따라 建設費, 運轉費即, 發電原價를 減少할 수 있는 要素가 多分히 있는 것으로 믿어지는 반면 石炭火力發電은 激化하는 環境汚染防止對策 등으로 오히려 Cost Up의 余地마저 있다고 보여진다.

現在 發想段階에 있는 技術까지라도 꾸준히 開發하여 이를 適用, 實証을 거쳐 原子力發電의 對 石炭火力 經濟性 優位性을 確立해야 하겠다.

### III. 原子力發電의 經濟性 向上

우리나라와 같이 資源이 없는 나라는 增加하는 電力需要를 充足하기 爲하여 새로 發電所를 建設해야 하며, 이에 必須的으로 燃料를 輸入해야 한다. 여기서 自然히 原子力이나? 石炭이나? (石油는 不考慮)라는 問題를 다루어야 한다. 이미 記述한 바와 같이 原子力發電에는 코스트를 低減할 수 있는 余地가 있음을 알았으니, 그 內容을 좀더 詳細히 알아보기로 한다.

우선 原子力發電所 建設費의 構成內容을 보면, 表12와 같다. 물론 이 構成費는 每機마다 달라진다. 建設與件이 絶對로 같을 수 없는 까닭이다. 이 建設費가 發電原價에서 차지하는 比率이 50~70%에 이른다. 따라서 우리는 建設費를 節減하기 爲해 非常한 努力을 해야 한다. 여러가지 構成要素를 하나 하나 攻略해야함은 勿論이며, 그중에서도 全體의 約1/4을 占하는 建設利子を 輕減하도록 하는 方案을 檢討해 보기로 한다.

建設利子是 借入金의 利率과 借用期間(建設利子是 建設期間中 發生)에 左右된다. 利率은 될 수 있는대로 低率이 바람직하나, 이는 借用者 마음대로 左之右之할 수는 없다. 따라서 附利期間 即, 建設工事期間의 短縮만이 建設利子を 減少하는 길이다. 그런데 果然 世界各國의 原子力發電所 建設工期는 어떠하며, 工期短縮을 爲해 努力하고 있는 이모저모를 알아 보기로 하자.

**美 國** 1983年1월에 發表된 AIF 報告에 依하면, 1980年中盤에 完工된 原子力發電所의 Typical Schedule은 그림1과 같은데, 이는 AIF主管, 各 Maker, Utility, AIF의 專門家들로 構成된 Task Force Team이 調査發表한 것이다.

이 Schedule에 있어 年次別 主要工程을 說明한다.

- 1) -2次年: 敷地選定.

表 12) 原子力發電所工事費內譯

內 譯	構 成 比 (%)	
	5·6号機	7·8号機
直接工事費	21.3	27.3
間接工事費	7.6	12.4
機資材費	30.2	22.9
設計用役費	9.7	4.2
核燃料費	6.1	6.1
建設利子	25.1	27.1
合 計	100	100

Site Layout完了.

NSSS供給者選定完了.

PSAR完成段階.

- 2) -1次年: Civil Work의 Design Base 決定.

設計進行.

機械, 電氣, 配管 등을 爲한 Spec.의 作成.

Piping Layout始作.

PSAR提出.

- 3) 0次年: 建設許可發給.

掘鑿工事本格着工.

Rebar, Steel의 現地組立始作.

Detail System Design完了.

購買發注.

配管機材發注.

Pipe Support設計.

- 4) +1次年: Vendor의 Spec., Drawing

Review.

一部 機資材 現場 搬入.

Control Room Pannel發注.

FSAR作成 準備.

Concrete打設 開始.

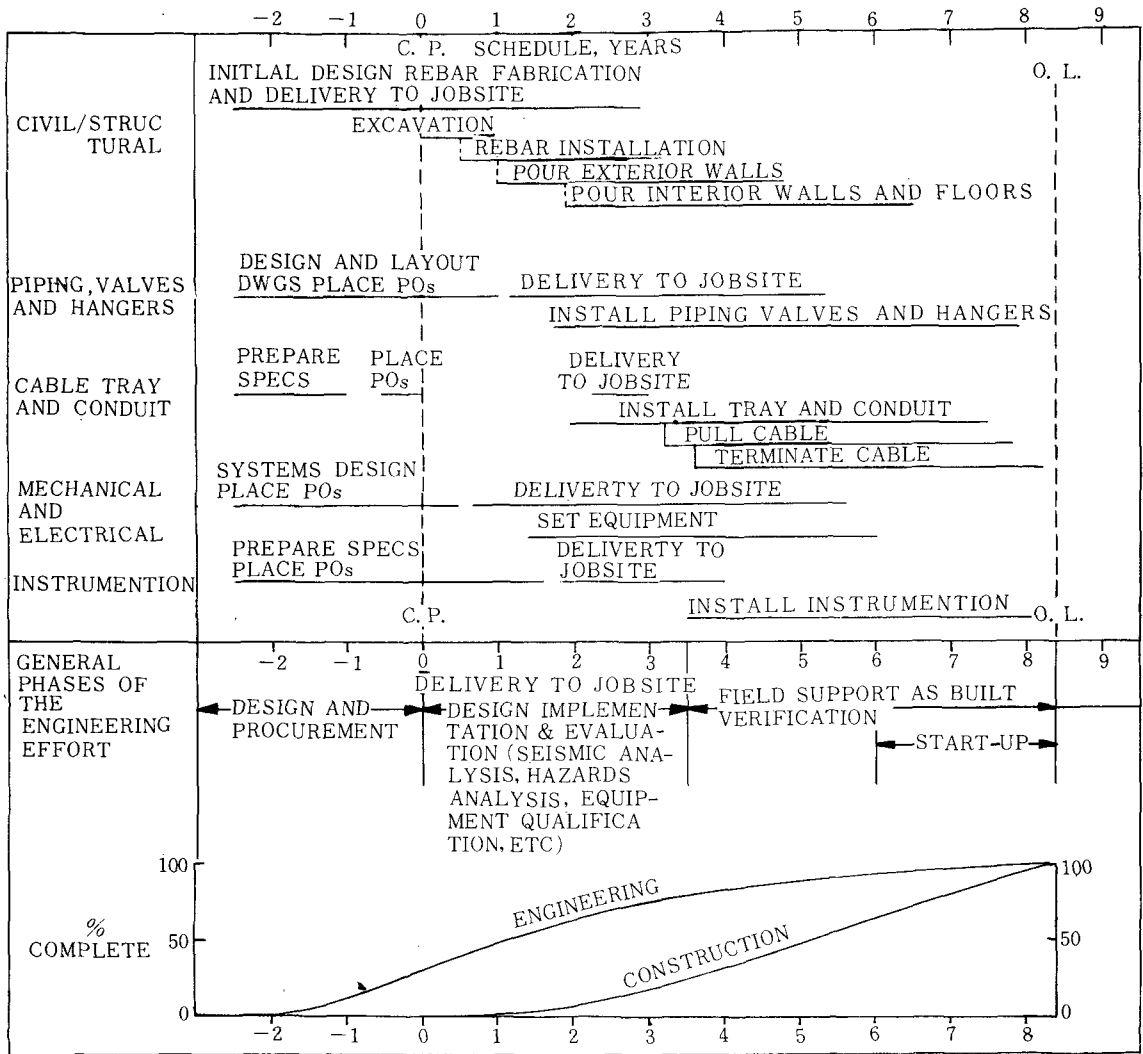
- 5) +2次年: 모든 機資材가 發注된 狀態.

HVAC, 其他 主機 現場 搬入.

Concrete...기초, 벽 등 打設完了.

Containment Concrete...Concrete打設과 並行.

〈그림1〉 Schedule for Nuclear Power Plant Design and Construction Process Mid-1980s Completion of LWR Plant



主機設置工事進行.

大口徑 Pipe, Pipe Support 等  
設置.

6) +3次年: Cable Routing.

小口徑 Piping.

設計變更 等の 適切な 措置.

7) +4次年: T/G, NSSS, Primary Loop

現場 搬入.

RPV設置.

Control Panel設置.

8) +5次年: Start-Up Procedure作成.

Emergency Diesel Gen.引渡.  
T/G設置完了.

Pipe, Hanger, Support, Cab-  
le設置進行.

9) +6次年: 建設工事 System別로 마무리  
作業.

Start-Up, Testing을 爲한 準備.

10) +7次年: Start-Up Group에 System 移  
管.



主要 Switch Gear 加壓.  
FSAR作成.

11) +8次年: 建設工事完了段階.

Operating Group이 System主管  
As-Built作成.  
Hydro Test.  
FSAR提出.

12) +8½次年: Fuel Loading.

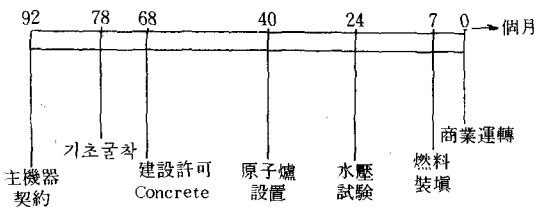
Low Power Test.

建設許可가 發給되고 기초굴착을 始作한지 8½年만에 燃料裝填을 하는 Schedule로서, 이에 비해 우리나라는 그동안의 原子力發電所 建設經驗을 바탕으로 標準工期를 作成하였다(그림2참조). 參考로 우리나라 原子力發電所의 實際工程을 表13에 表示하였다.

**日本** 日本의 主要 原子力發電所의 建設工期(既竣工 및 建設中)를 보면 表14와 같다.

日本의 경우는 大體로 보아 美國이나 우리나라보다 建設工期를 短縮하고 있다. 特히 關西 電力會社의 高浜3號機는 掘鑿開始後 商業運轉

〈그림 2〉 標準工期圖



〈表 13〉 原電의 實際工程

号機別	NSSS 契約	基礎 굴착	建設 許可	商業 運轉	建設 期間		所要 期間	備考
					굴착~상업운전	許可~상업운전		
1号機	6/70	11/71	5/72	7/78	80	74	97	PWR Turnkey方式
2号機	11/76	3/77	11/78	9/83	78	58	82	PWR同上
3号機	1/75	5/77	2/78	4/83	71	62	99	CANDU同上
5·6号	4/78	4/79	12/79	6/85	74	66	86	5号機基準
7·8号	10/79	12/80	12/81	3/86	63	51	77	7号機基準
9·10号	11/80	3/82	1/83	9/88	78	68	94	9号機基準
標準工程					78	68	92	

까지를 50個月로 計劃하고 있는 것은 注目할만 하다.

1. 建設工事費節減

原子力發電所의 建設工期는 與件에 따라 差는 있으나, 기초굴착에서 부터 商業運轉까지 5~8個年이 所要된다. 이를 短縮하기 爲해 여러가지 方案이 研究, 適用되어 50個月까지 實現하고 있으나, 여기서 몇가지 有効한 方案을 例를 들어보기로 한다.

〈標準化〉

原子力發電所의 標準化를 推進, 成功한 例는 프랑스에서 찾아볼 수 있다. EDF는 CP Series로 900MW, 1,300MW, 1,450MW System을 標準化하여 建設工期의 短縮 뿐만아니라 여러가지 附隨的인 利得을 얻어 原子力發電의 코스트를 節減할 수 있었다.

標準化計劃을 推進해 나아감에 따라 設計, 研究, 試驗 等に 重點的인 財政支援이 可能하게 되고 製造, 建設, 運轉 等に 있어서는 加速的으로 技術을 習得해서 品質向上을 期할 수 있게 되어, 結果的으로는 安全性 確保에도 一助가 되었다.

標準化로 因한 原子力發電所 建設工期 短縮 因果는 다음과 같다.

- 反復效果로 因한 設計業務量의 減少.
- 認許可過程에서 發生한 問題點 解決案 適用으로 認許可에 所要되는 期間의 短縮.

〈表 14〉 PWR Plant Table of Construction Period

COMPANY	PLANT	MAIN CON-TRACTOR	OUT-PUT [MWe]	CONSTRUCTION PERIOD [MONTHS]										
				0	10	20	30	40	50	60	70			
(UNDER OPERATION)				START EXCAVATION					INITIAL CRITICALITY			COMMERICAL OPERATION		
KANSAI	MIHAMA - 1	WH	340	↓					↓					
KANSAI	MIHAMA - 2	MAPI	500						↓					
KANSAI	TAKAHAMA - 1	WH	826						↓					
KANSAI	TAKAHAMA - 2	MHI	826						↓					
KYUSHU	GENKAI - 1	MHI	559						↓					
KANSAI	MIHAMA - 3	MHI	826						↓					
KANSAI	OHI-1	WH	1,175									↓		
KANSAI	OHI-2	WH	1,175									↓		
SHIKOKU	IKATA - 1	MHI	566						↓					
KYUSHU	GENKAI - 2	MHI	559						↓					
SHIKOKU	IKATA - 2	MHI	566						↓					
KYUSHU	SENDAI - 1	MHI	890									↓		
				(UNDER CONSTRUCTION)										
KANSAI	TAKAHAMA - 3	MHI	870						↓					
KANSAI	TAKAHAMA - 4	MHI	870						↓					
KYUSHU	SENDAI - 2	MHI	890						↓					
JAPCO	TURUGA - 2	MHI	1,160											

· 機器가 同一하므로 建設工事의 熟練度 向上 및 破損時 迅速한 代置.

· 先行機의 建設時 發生한 問題點 解決方案을 後續機에 即刻 適用.

· 同一한 各種 節次書의 使用으로 訓練期間의 短縮.

標準化에 依한 綜合效果는

· 900MW級 原子力發電所의 建設工期가 75 ~ 80個月에서 60個月로 短縮,

· 補修作業, Scheduled Refueling이 70日에서 1984년에는 43日로 短縮되었으며,

· 發電所 從事員의 被曝線量이 減少되고,

· 發電所 利用率이 向上되었음

等を 들 수 있다.

다음 日本의 경우는 始初 外國서 導入한 原子力發電所에 問題點이 많이 發生하여, 利用率이 40%線까지 떨어지는 低調를 보이자, 1975年 通産省이 主體가 되어 各界를 망라한 輕水爐改良標準化委員會를 設置하여 建設工期의 短縮과 利用率 向上을 期하였으며, 工期 50個月로 建設이 推進된 高浜3·4號機는 第2次 改良標準化設計가 適用된 例이다. 이와 같은 努力의 結果, 最近의 建設工期短縮을 그림3에서 볼 수 있다.

西獨의 경우는 KWU의 CONVOY Project를 들 수 있다. 이 標準化計劃은 技術的으로 特別히 새로운 것은 아니며, 다만 Biblis 原子力發電所의 設計·建設에서 얻은 經驗을 土臺로 一部를 改良, 最適化한 것으로써, 1,300MW PWR에 適用하고 있는데, 主目的은

· 認許可期間의 短縮,

· 多重檢査, 所要書類의 減少 — 建設工期의 短縮,

· 補完을 爲한 設計變更의 極少化,

· 建設費의 安定化

등이다.

現在 3個 地點에서 1,300MW級 PWR發電所

를 建設中인데 建設工期는 5.5個年으로 定하고 있으나, 이보다 더 短縮될 것으로 전망된다. 이 CONVOY Model은 西獨 國內市場 뿐만아니라 世界市場의 進出 目的으로 1,000MW級에도 適用, 開發하고 있다. 元來 이는 工期短縮을 主目標로 했으나, 여러가지 附隨的인 利點이 있어 더욱 R&D를 強化할 方針이다.

우리나라에서는 原子力發電所의 建設이 10基를 上廻하게 되자, 韓國型原子力發電所로 標準化해야 한다는 輿論이 일기 始作하였다. 即, 우리나라의 모든 原子力發電所는 注文設計이며, 機器는 多樣하고, 多國籍 認許可基準의 適用, 技術人力의 分散, 相異한 施工方法 등으로 因해 建設費의 增加, 認許可의 長期化, 機資材 國產化의 遲延, 運轉 및 保守의 複雜性 등 많은 不利點을 보고있다.

이를 改善하고자 政府의 企業主導 特定研究 開發課題로 第1次年度事業이 1983년4월부터 1984年3월에 걸쳐 “標準原子力發電所設計에 關한 研究” 題下에 韓國電力技術(株)에 依해 遂行되었다. 第1次年度事業은 우리나라 原子力發電所 標準化事業의 推進方案을 提示하기 爲한 것으로서 그 研究內容은

· 先行課題의 調査

標準化事例調査, 國內技術의 現況, 原子爐型 및 容量, 敷地特性, 標準化의 範圍 및 內容

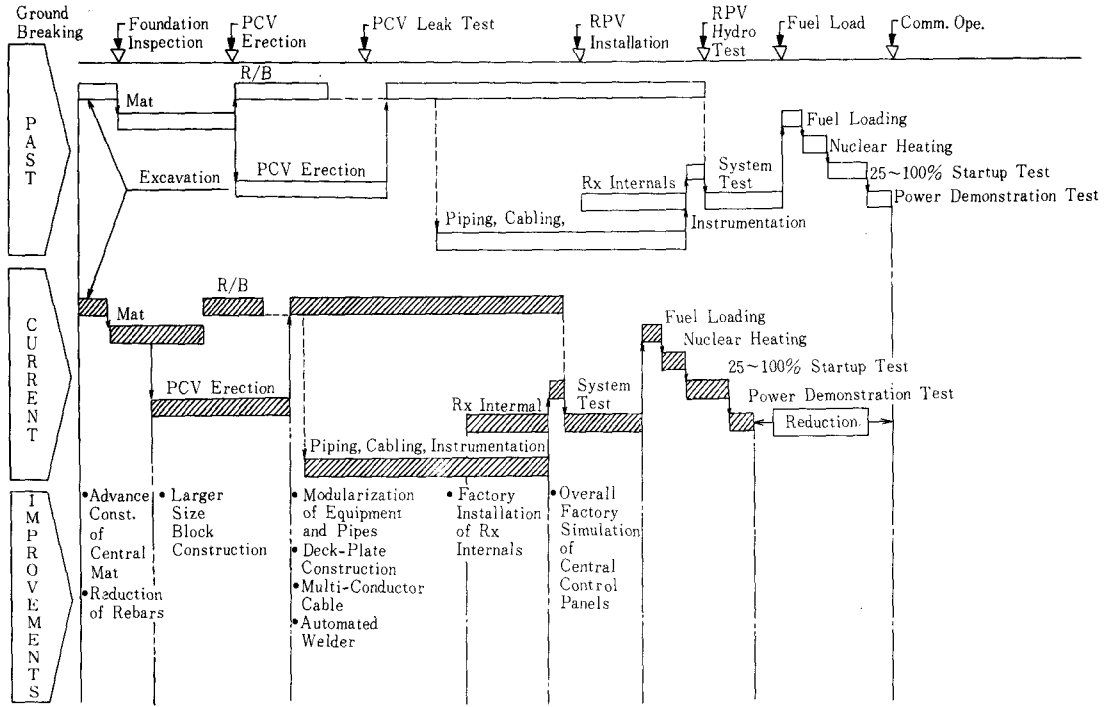
· 概念設計에 關한 基礎研究

最適設計研究(項目選定), 一般設計基準定立 등으로 하고 第1次年度事業結果는

· 原子爐型과 容量

900MW級 PWR이 가장 現實性이 있어 1次的으로 標準化한後 2次段階에서 容量을 再考하는 方向을 提示. 2,000년까지는 이를 多數基 反復 建設하여 所期의 目的을 達成할 것을 提示하고 있다. 1985년에는 第2次年度作業으로 基礎調査와 設計改善研究, 基本設計, 詳細設計段階를 거

〈그림3〉 Construction Methods Improvements and Construction Period Reduction



칠 것이며, 詳細設計段階에서는 우리나라에 建設될 原子力發電所에 直接適用될 것을 期待하고 있다.

標準原子力發電所의 개념을 開發함으로써 建設工期를 短縮하고, 나아가서 建設利子-建設費를 節減한 實例를 찾아보았다. 이 외에도 建設工期를 줄일 수 있는 여러가지 方案을 찾아본다면 다음과 같다.

〈設計, 엔지니어링면에서〉

• Design Model의 採擇

Design Model을 採擇함으로써, 發電所의 建設工事中에서 恒常 問題가 되는 施設物의 相互干渉問題를 解消할 수 있으며, 이로 因해 工期를 相當히 短縮할 수 있다. 또한 不必要한 空間을 없애고, Modularization의 基本이 되고, Design을 適期에 凍結하여 Model을 工事現場에 備置하여 配管, 配線等 作業促進을 도울 수 있다. 또한 工事節次, 方法設定에도 큰 도움을 줄

수 있다.

• 컴퓨터의 活用

ASME Code에서 要求하는 應力解析等 複雜한 計算에 活用되며, CAD는 各種 圖面作成, 修正作業을 容易하게 하여 相當한 時間과 經費를 節減할 수 있으며, 또 建設工事의 코스트나 Schedule을 kontrol할 수 있는 Software도 開發되어 建設工事의 kontrol과 코스트 kontrol의 效果를 期할 수 있게 되었다.

• Full Scale Model試驗

Switchgear Assembly, Cable Tray나 Pipe Support Hanger 등을 Shake Table에서 試驗하여 實際結果를 確認할 수 있음으로 해서 이들의 設計를 促進할 수 있다.

〈施工面에서〉

• 콘크리트打設方法의 發達

多量의 콘크리트를 複雜한 場所에 打設해야 하는 原子力發電所 建設工事に 있어, 最近에는

大容量, 高壓 콘크리트 펌프를 使用하기 始作하여 從來方式에 比해 約20%의 Manhour 節減實績이 報告되고 있다.

· 새로운 混合劑의 開發

Super Plasticizer라고 하는 混合劑를 使用하여 콘크리트 펌프의 使用을 더욱 效率化하고, 強度를 損傷치 않으면서, 콘크리트打設效率을 向上하고 있다.

· Rebar의 事前組立

Prefabricated Rebar Form Panel 또는 Column을 使用하여, 構造物의 建造期間을 顯著하게 節減할 수 있다. 實際로 壁體의 경우 現場打設에 比해 Prefab. 工法일 때는 時間을 1/10程度로 短縮할 수 있다.

· 機器, Piping 等の Pre-Assembly, Modularization

Component, Equipment, Subsystem 等を 發電所 建設現場外의 다른 適當한 場所에서 미리 組立하여, 이를 現場에 輸送, 設置케함으로써, 工程의 短縮이 可能하다. 이렇게 하기 爲해서는 Design Model을 活用, 初期부터 Module化를 試圖해야 한다. 콘덴서의 Pre-Assembly 같은 것은 좋은 例일 것이다.

· 裝備의 發達(새로운 裝備의 活用)

重量物을 들어올리거나, 輸送하는 裝備가 高度로 發達하였다. 美國에서의 例를 든다면, 880 Ton의 重量物을 다른 裝備의 支援없이 上車, 輸送, 下車할 수 있는 Schnabel Car를 開發, 이를 活用하여 相當한 時間節約의 效果를 올리고 있다. Tower Crane은 900余Ton의 RPV, Containment Dome을 容易하게 들어올리고 있다.

· 其他

Jump Form의 活用도 效果的이다. 또 配管 作業에서 熔接技術의 發達 또는 Cable Tray 用, HVAC Duct用, Pipe用 等の Support, Hanger를 複合的으로 檢討하여 配管하는 方法, Support用 資材를 早期發注하여 配管作業時

假支持를 省略하는 方法 等 여러가지가 考案되고 있다. Cable Pulling에 電算프로그램이 活用되는 것은 거의 보편화되었으며, 内部照明도 可能限 假設備를 止揚하고 本設備化하는 方案까지도 강구되고 있다.

이들 여러가지 方法은 이미 우리나라 原子力 發電所 建設에서 適用되고 있으며, 앞으로 後續機의 建設에 있어서 좀더 積極的으로 廣範圍한 適用을 爲해 研究努力해야 할 것이다.

總括的으로 좀더 效果를 얻게 하는 要因을 整理하여 보면 다음과 같은 것들을 들 수가 있겠다.

1) 原子力發電所의 建設은, 建設工事着工前에 最少 50%以上の 設計가 完了되어 있어야 하며, 本格的인 工事が 始作될때에는 設計를 Freeze하는 것이 緊要하다.

2) Vendor의 質을 恒常 監視해야 한다. Audit를 통해 Vendor의 職能을 明確히 파악하여서 機器發注, 品質保證 等に 차질이 없도록 對備해야 한다.

3) INPO와 같은 情報센터를 活用하여서 原子力發電所의 設計·建設에 參考가 될 여러가지 重要情報를 입수, 이를 새로운 發電所에 反映하도록 努力한다.

4) 計測制御分野에는 漸次로 컴퓨터의 活用 分野가 擴大될 것이므로, Control Room Design에는 Human Factor Engineering에 立脚한 새로운 設計를 採擇해서 簡便한 運轉이 可能케 해야 한다.

## 2. 運轉費節減

日本의 中央電力研究所에서는 今年初에 發電코스트를 輕減할 수 있는 研究結果를 發表하였다. 이 研究는 1,100MW, PWR 原子力發電所를 研究對象으로 했으며, 燃料의 高燃燒度化와 運轉사이클의 長期化를 檢討, 經濟性的의 效果를 試算하였다. 그 結果에 따르면 “燃料의 高燃燒度化와 運轉사이클의 長期化를 併用해서 運

轉할때 發電의 經濟性은 最大의 效果를 나타낸다”는 것인데, 具體的으로는 60,000MWD/T, 18個月 運轉할때에는 從來의 30,000MWD/T, 9個月 運轉에 比하여 發電코스트는 12% 減少한다는 것이다.

燃料燃燒度를 높인다는 것은 같은 重量의 燃料에서 부터 더 많은 에너지를 抽出하는 것으로서 그만큼 燃料사이클의 費用이 低下하는 가답이다. 또한 發電所의 燃料사이클을 長期化하면 利用率 向上과 直結되므로 發電코스트가 低減될 것은 明白한 것이다. 실제로 近年에는 12個月以上 繼續運轉한 例를 많이 볼 수 있다.

그림4는 앞의 研究結果, 試算한 것을 圖示한 것인데, 試算케이스는 燃燒度 30,000, 40,000, 50,000, 60,000MWD/T, 運轉사이클 9, 12, 18個月(9個月 運轉, 3個月 停止式) 등 모두 12가지 경우에 對한 것이다. 燃料의 高燃燒度化와 運轉사이클의 長期化를 併行하는 것이 經濟的으로 有利함을 明確히 알 수 있다.

燃燒度 60,000MWD/T, 運轉사이클 18個月間 全出力, 3個月 停止하는 경우 基準 30,000MWD/T, 9個月 사이클에 比해서 1.4円, 即 12%의 發電코스트 低減을 나타내고 있다(研究對象에는 美國 Zion No.2 1,100MW PWR의 爐心 데이터를 利用함). 물론 試算에 採擇한 前提들, 使用데이터의 不確實한 點, 우라늄濃縮費, 燃料

사이클의 Back End Service費 等 考慮해야할 事項들이 있기는 하나, 얻어진 結果 패턴을 크게 變動하지는 않는 것이어서 高燃燒度化, 長期運轉사이클化에 經濟的 利點이 있는 것은 確實하다. 이 研究結果가 實證되어서 原子力發電所의 Cost Down에 實質的인 기여가 있기를 期待한다.

●稼動率의 向上

日本의 原子力發電所는 稼動率이 70%를 上廻하고 있다. 그러나 向後 이를 좀더 向上하기 爲해 키 포인트가 되는 定期檢査를 最近에 發展한 技術을 土臺로 定期檢査의 效率化를 檢討하며, 年1回 施行하는 檢査의 인터벌 등을 包含하여 5個年 計劃으로 再定立作業을 政府主導下에 推進中에 있다.

實際에 있어 現在까지 80日~120日 所要되는 檢査期間을 60日로 短縮할 것을 目標로 여러가지 施行方法의 改良, 技術開發 등을 이룩하고 있다. 例컨대 自動裝備 등을 開發·活用함으로써 檢査期間의 短縮化를 實現하고 있다.

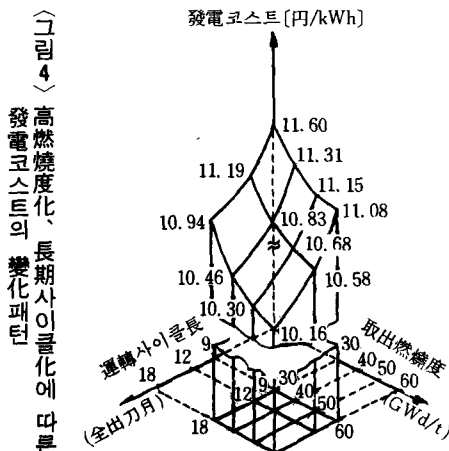
美國의 경우 TMI事故前에는 定期保守作業內容中 核燃料交替만이 規制對象이었으나, 事故後에는 다른 作業도 規制對象이 되어 自然的으로 運休時間이 길어지게 되었다. 그래서 Pre-Outage Planning을 철저히하고, Maker와 A/E의 熟練技術者를 合勢시켜 計劃期間을 짧게 하는 同時에 이 時間內에 모든 作業을 完了하도록 努力하고 있다.

이러한 努力의 結果는 表15에서 보는 바와 같이 TMI事故를 前後해서 計劃對 實績에서 顯著한 接近을 이룩하였다.

《核燃料사이클의 經濟性 追窮》

●새로운 核燃料 濃縮技術의 開發

現在 우라늄의 濃縮에는 가스擴散法과 遠心分離方式이 採擇되고 있다. 最近에 開發된 방식이 레이저分離方式으로서 第5次 PBNC에서 美國에너지省(DOE)의 展示館에 簡略하게 紹介되



〈表 15〉  
実績の比較對  
計劃

年度	保守件数	年平均計劃期間	年平均實際期間
1976年	29	33日	43日
1981年	38	20日	24日

있었다.先進國들은 이 技術을 商用化하기에 拍車를 加하고 있으며, 프랑스의 COGEMA는 1986年末에 레이저方式의 採擇을 正式으로 決定할 것이며, 今世紀末에는 新濃縮法에 依한 1,000Ton SWU/year程度의 實證플랜트를 運轉開始할 것을 計劃하고 있다.

問題의 초점이 되는 濃縮코스트는 現在 \$100/SWU程度인 것을 그 1/2이하로 低減시킬 것을 公言하고 있다. 市場의 必要에 따라서는 實證플랜트를 1995년에, 即 5年 더 빨리 運轉開始할 수도 있다고 示唆하고 있다. 計劃대로 우라늄濃縮費가 半減된다면, 이 역시 原子力發電 原價低減에 기여할 것이다.

美國에서도 現在의 가스擴散法에서 계속적인 原價節減方案을 研究, 每年 코스트를 저감시키고 있으며 Advanced Gas Centrifuge Process와 레이저分離(Atomic Vapour Laser Isotope Separation Process)方式에 依해 계속적인 研究를 推進하고 있는데 1985年中에 DOE 프로세스 評價委員會에 프로세스 採擇을 爲한 最終評價報告書가 提出될 豫定이다. 日本 역시 새로운 프로세스에 觀心을 갖고 技術調査團을 美國에 派遣하는 등 積極的인 姿勢를 보이고 했다.

### 3. 復合効果を 얻기 爲한 考慮事項

1984年5月 美國 EPRI에서는 將來의 原子力發電所에 對한 檢討會가 열렸으며, 여기서 注目할만한 提案이 發表되었다. 그중 하나가 Simplification이다. 1990年代의 原子力發電所는 實證된 技術에서 부터 急進的인 脫皮는 不可하며, 運轉經驗이 蓄積되어 있는 現在 發電所의 여러가지 技術的 問題들을 最適化해야 한다고 조심스럽게 提示하고 있다. 即, 새로운 問題를 誘發하지 말고 다음에 執着하도록 勸하고 있다.

- 實證된 技術, 機資材, 시스템의 使用.
- Simplification.

#### 〈Simplification〉

1990年代에 運轉할 原子力發電所의 Simplification에 關한 技術面의 評價結果를 다음과 같이 例示하고 있다.

- 1) 밸브의 數를 減少하고, 標準化한다.
- 2) Pipe Whip Restraint를 省略한다.
- 3) 給水, 復水系統의 簡素化, 高信賴度化.
- 4) 自然循環機能의 強化.
- 5) 放射性廢棄物處理系統의 簡素化.
- 6) 現場作業의 極少化.

이들은 實現可能視되며, 그렇게 될때 原子力發電所 經濟性 提高에 큰 役割을 할 것이 期待된다. 이 중에서 밸브問題를 좀더 자세히 檢討해보자.

● 火力發電에는 約4,000個의 밸브가 所要되는데 비해 原子力發電에는 30,000~40,000個의 밸브가 所要된다. 最近에는 밸브數가 더욱 增加하는 傾向마저 있다.

● 各個의 밸브는 하나의 시스템이라고 할 수 있다. 即, 操作을 爲해서는 電動모터나 空氣 Operator가 必要하며 位置表示器, Torque Switch 등과 配管, 配線 등이 이에 따라 必要하다.

● 밸브의 維持, 保守는 發電所의 維持, 保守에 相當한 比重을 차지한다.

● 現在의 大型 모터驅動밸브를 省略할 수 있다면, 이는 數萬弗의 建設費 節減이 될 뿐 아니라 補修費, 點檢試驗費도 大幅 節減할 수 있게 된다.

● 實際로 AECL은 600MW級 CANDU 設計에 있어, Primary Heat Transport and Aux. System에서 676個의 밸브를 392個 減少하여 아무 支障없는 結果를 얻을 수 있었다.

● 美國에서도 PWR 原子力發電所에 있어 Safety Injection System에 對해 檢討해본 結果 거의 同等한 節減이 可能視된다.

다른 項目의 자세한 說明을 略하더라도 簡素化된 시스템은 複雜性이 除去되고 保守費 節減, 稼動率 向上, 機器代 節減 등으로 因해 數千萬弗의 經費 節減을 期待할 수 있을 것이다.

《Modularization Concept》

다음 Modularization Concept에 關해서 더 알아보기로 한다. 이의 利點은 이미 略述하였다. 600MW級 工場 組立 Reactor Barge Module의 特徵은 다음과 같다.

1) Barge Module은 Reactor, Containment 등 大部分의 安全性 關聯시스템, 即 Nuclear Island를 形成한다.

2) Reactor Basement, 차폐건물은 現場建設이다.

3) T/G, Aux. 建物 역시 現場建設이다.

4) Barge Size는 淺水海岸에 位置하고, 內陸水路移送이 可能하도록 決定한다.

이에 適合한 例로는 Westinghouse의 “NU-PACK CONCEPT”이 있으며, 이것이 主張하는 利點으로는

1) 工期와 工事費의 確實性

- 工期의 短縮
- Barge建造와 現場作業의 並行 可能
- 認許可事前取得
- Nuclear Island의 事前設計完了

2) 高品質確保

- 標準設計化
- 設計, 事業管理容易

3) 優秀한 適用性

- 現場에서의 作業範圍가 적다
- 從業員數의 減少
- 他 Site에도 適用可能하다

等을 내세우고 있다.

最近 1985年5月 第5次 PBNC의 Pre-Conference Workshop에서는 日本東京大學 Wakabayashi教授에 依해 現在 設計가 進行中에 있는 ISER(Intrinsically Safe and Economical

Reactor) Concept이 發表되었다. 容量 200~500MW 輕水爐를 Barge에 設置하는 Modular Concept으로 設計의 單純化에 依한 原子力發電所 經濟性 提高가 역시 開發目標의 하나가 되고 있다.

《日本 原子力發電所(輕水爐) 改良標準化事業》

다음은 日本의 原子力發電所(輕水爐) 改良標準化事業에 對해 알아본다. 1995年頃 建設에 適用할 것을 目標로 第3次 標準化事業이 進行中인데, 이는 이미 알려져 있는 APWR, ABWR의 開發이다. 이에는 美國의 兩大 Reactor Maker인 G. E., Westinghouse는 물론 日本의 Maker들과 電力會社 등이 合同으로 參與하고 있다. 輕水爐改良標準化事業에 주어져 있는 課題는

- 1) 高度의 經濟性, 信賴性 追窮,
- 2) 플랜트의 長壽命化,
- 3) 作業線量의 低減, 補修性 向上,
- 4) 運轉性 向上,
- 5) 廢棄物發生量의 低減,
- 6) 原子爐解體技術의 確立,
- 7) 立地多樣化

等이며, 좀더 解説을 한다면 다음과 같다.

1) 運轉사이클의 最適化, 定期檢査期間을 考慮하여 標準定期檢査期間을 80日에서 60日로 短縮, 運轉期間을 15個月로 考慮하고 있음. 그래서 時間稼動率을 85%까지 向上할 目標로 하고 있음.

2) 플랜트의 大型 Component도 中間에 新品으로 交替하여 플랜트 全體의 壽命을 長期化하도록 考慮함.

3) 作業員의 被曝線量에 對해서는 現在 全 플랜트 平均 450Man-Rem/爐인 것을 2/3程度로 減少시킬 目標.

4) 光多重傳導技術의 導入, 電力系統에의 對應改善으로 負荷追從運轉性能의 向上을 期함.

5) 이제까지 可燃性廢棄物의 減少에는 相當



한 努力의 成果를 거두었으나, 今後는 不燃性 雜固體廢棄物에 對해 重點的으로 技術開發을 한다.

모든 課題가 解決되어 1995년에 導入되는 A-PWR, ABWR의 性能은 注視할 만하다.

#### 《放射性廢棄物の 處理·處分》

原子力發電所의 運轉에서 (여러가지 準位の) 放射性廢棄物이 發生됨은 避할 수 없는 일이다. 이들 廢棄物을 處理·處分하여 環境汚染을 防止해야함은 必須的이다. 이에는 高度의 技術과 施設費, 運轉費 등이 所要되므로 이 또한 原子力發電의 經濟性에 影響을 주는 한 要素가 된다.

世界의 原子力發電所 保有國家들은 安全性이 確保되고 經濟的으로도, 技術的으로도 立證될 수 있는 여러가지 處理·處分方式을 研究·開發, 試用하고 있다. 處理·處분에 앞서 廢棄物이 發生하지 않도록 乃至는 極少化하는 方案 등을 研究하고 있으나, 아직은 妙案이 提示되지 못하고 있다. 따라서 次善策이나 廢棄物들을 處理하여 貯藏, 處分할 容量을 減少하는 方向이 研究되고 있다.

固體廢棄物의 경우 可燃性物質은 이를 燒却하여 固化減容하며, 不燃性物質은 壓縮, 小容量化하는 등 自國 實情에 맞는 여러가지 方式이 檢討, 採擇되고 있다. 또한 固體廢棄物과 液體廢棄物을 同時에 드럼에 收容, 固化함으로써 드럼數를 2/3로 減少한 實績도 報告되고 있다.

處분에 있어서 陸地埋藏, 海洋投棄 등 安全한 方法을 開發하고 있는데 經濟性 爲主로만 解決할 수 없는 點도 있어서 좀더 先進國들의 研究·開發結果를 注視할 必要가 있기는 하지만, 우리나라도 早速한 時日內에 方向이 決定되어야 할 것이다.

#### 《發展하는 主機器製造技術》

發電所의 主機器 Maker들은 製造技術의 向上을 爲해 不斷히 研究하고 있으며, 近來에는 특히 熱處理技術, 鍛造技術 등이 發達하여 새로운 形態의 機器를 製造, 플랜트 코스트의 低

減에 기여하고 있다.

1) 一體型 Turbine Rotor의 製造: 日本의 三菱重工業은 一體型 低壓 Turbine Rotor를 製造하여, 이 Turbine이 今年 2월에 運轉開始했음을 發表하였다(關西電力 Takahama 3號機, PWR, 870,000KW). 이 Rotor는 Shaft와 Disc를 一體의 円筒素材를 切削하여 一體物로 製造했으므로 從來方式에 依한 Rotor보다 運轉信賴性, 稼動率向上이 期待된다. 이러한 一體型 Rotor는 今後 全世界的으로 大容量 Turbine에 採擇될 傾向이다.

2) 長形의 Turbine Blade: 역시 三菱重工業에서는 1984年末에 54inch 길이의 Turbine Blade를 開發하는데 成功했다(從前은 44inch). 即, 低壓 Turbine 最終端 Blade의 長이를 길게 함으로써 出力을 增加시킬 수 있는데 通路面積이 36% 增加하므로 出力도 約30% 增加한다. 따라서 800,000~1,200,000KW級 原子力發電所에 高壓Turbine 1基, 低壓Turbine 3基 構成에 이 새로운 Blade를 使用한다면 1,350,000~1,500,000KW의 出力이 可能하다. 또한 發電所의 出力을 그대로 둔다면, 低壓Turbine 1基를 省略할 수 있어 建設費의 節減을 期할 수 있을 것이다. 이러한 機器는 1995年 運轉開始를 目標로 開發·進行中인 APWR에 採擇될 可能性이 크다.

#### 《Source Term에 關하여》

放射線源項(Source Term)이란 “原子爐의 重大事故時 環境中에 放出되는 放射性物質의 種類와 量”이라고 定義한다. 이 Source Term은 原子力開發初期부터 Risk에 關한 大端히 重要한 要因으로 看做되어 왔다. 그러나 當時에는 Source Term을 정확히 評價할 수 있는 技術이 不足하여 아주 保守的인 假定들이 使用되어 왔다. 이 假定이란 原子爐重大事故時 實質的으로 여러가지 核分裂生成物이 放出된다는 것이다.

그러나 1979년에 발생한 TMI-2原子力發電所의 事故에 있어서는 이를 이제까지의 假定이 過大하였음을 立證하였다. 그래서 美國原子力學會(ANS)에서는 放射線源項特別委員會를 조직하여 Source Term 自體, 使用한 手段, 假定 등을 檢證함과 同時에 얻어지는 結果와 WASH-1400(原子爐安全研究)의 데이터와를 比較 檢討하기로 하였다.

또 美國物理學會(APS), 產業界에서도 (IDCOR)에서도 多角度로 檢討한 結果 ANS의 見解, 即 Source Term은 種類와 量에 있어 過大算定되어 있다는데 同意하고 있다.

Source Term을 減少할 수 있는 要因으로는

- 1) 化學的反作用,
- 2) 1次系統에서의 滯溜,
- 3) 他構造物로의 漏出,
- 4) Containment의 多重構造,
- 5) Containment의 實際強度

등을 들고 있다.

또한 Source Term은 Noble Gas를 除外하고는 WASH-1400에 提示된 값의 1/10程度라고 假定할 수 있게 되었다. 이러한 Source Term의 減少結果는 稼動中 또는 建設中인 原子力發電所와 大型, 中型 輕水爐에 對한 規制方法, 設計者, 建設會社, 電力會社들에게 重且大한 意味를 주게 되었다. 그러나 現時點에서 이러한 結果를 當장 原子力發電所의 設計, 建設, 運轉에 適用하기는 時期尚早다. 現在 全世界的으로 研究가 活潑히 進行되고 있으며, NRC에서도 앞으로 2年間に 걸쳐 WASH-1400을 再檢討, 計算하는 作業을 進行中에 있으며, INPO에서도 原子爐重大事故時 運轉員들이 Source Term을 減少하기 爲해 取해야 할 措置 등에 對한 節次를 마련중에 있다.

이러한 結果들이 確實性있게 發表되어 立證됨으로서 새로운 原子力發電所를 建設함에는 그 設計, 建設, 運轉을 망라하여 經濟性이 向上될

수 있기를 期待한다.

#### IV. 結 言

原子力發電과 石炭火力發電은 發電原價가 近接한 狀況에 있어 經濟的 優位性 判斷이 어려운 處地에 있다(一部 國家를 除外하고). 그러나 앞에서 보는 바와 같이 原子力側이 有利한 경우가 많음도 알 수 있다.

이제까지 記述한 여러가지를 綜合한다면, 原子力發電은 그 原價를 節減할 수 있는 要因이 相當히 多樣함도 알 수 있다. 科學技術의 發達, 研究開發의 持續的인 推進으로 建設費를 節減하고, 利用率을 向上, 燃料코스트의 節減이 可能視되어 長期眼目에서는 原子力發電의 經濟性 向上이 確實視된다.

또한 原子力發電에는 燃料를 한번 裝填하면 1年以上 連續運轉이 可能하고 燃料의 備蓄, 輸送이 容易하며, 燃料價額의 變動이 發電原價에 미치는 영향이 僅少한 點 등을 考慮할때 原子力發電의 對 石炭火力發電 經濟的 優位性은 一層 增大될 것이다.

우리나라에 있어서는 長期電源開發計劃을 樹立함에 있어, 電源의 多樣化를 期해 將來의 情勢變化에 柔軟하게 對應할 수 있는 供給安定性과 經濟性을 兼備한 強力한 電源으로 構成해야 한다.

#### 《參考資料》

1. 5TH PBNC PROCEEDINGS
2. PRE-5TH PBNC WORKSHOP
3. EPRI PRESENTATION TO VENDORS, A/Es
4. Positive Experience in Designing and Constructing Nuclear Power Plant
5. 標準原子力發電所 設計에 關한 研究, KOPEC
6. 日本原子力産業新聞
7. 5TH, 6TH KAIF/JAIF Seminar on Nuclear Industry