

電源開發計劃과 O.R.

全 豊 一*

1. 概 況

設備投資 規模가 커지고 發電形態가 多樣해 짐에 따라 電源開發의 投資選定은 電力系統運營에 關係되는 諸與件에 符合되도록 OR 技法을 使用하여 體系的으로 組織되어야 한다. 未來의 發電系統 投入 組合을 決定하기 위해서는 需要特性, 需用家에 대한 供給支障許容基準, 發電形態별 建設費, 資本費率, 工期, 燃料 및 運轉維持費, 效率 및 수명기간 등을 고려하여야 하며, 一般的으로 基底負荷 및 尖頭負荷로 負荷를 區分하여 적절히 供給할 수 있도록 長期的·中期的 및 斷期的인 系統投入 方案을 設定하고 있다.

長期的인 電力事業計劃은 다음과 같이 推進함이 바람직 하다.

- (1) 適正한 電力需要 想定
- (2) 最低 및 最高 豫備率 設定
- (3) 不確實性등을 포함한 變化 要因 分析.
- (4) 負荷曲線의 推定
- (5) 負荷供給支障確率(loss of load probability)의 算定
- (6) 發電所 定期補修 및 燃料 再裝填計劃의 수립
- (7) 運營費 및 建設費 計算
- (8) 設定된 計劃의 妥當性 檢討分析

위에 언급한 事項을 체계적으로 표시하면 그림 1 과 같으며 長期電力計劃 수립을 위한 電力計算프로그램의 計算過程은 그림 2에 표시한 바와 같다.

미래의 電力需要는 재래식 방법 또는 確率의 方法 등으로 推定할 수 있다. 여기서는 電力需要를 電力費, 國民所得, 産業構造 및 人口의 函數로 생각하여 과거 15年間의 資料를 기초로 하여 回歸分析法(regression analysis method)으로 1996年 까지 推定하였으며, 다른 例와 비교한 推定值를 그림 3에 曲線으로 표시하였다.

*韓國原子力研究所

2. O.R.技法을

利用한 長期電源計劃

2.1 시뮬레이션 技法을

이용한 系統投入의 決定

시뮬레이션 技法은 負荷曲線과 發電所의 稼動率 변화에 따라 全體系統에서 필요로 하는 電力量의 需要를 數學的 方法으로 確率의 方法으로 표시하고 이를 電子計算化하여 요구되는 負荷供給支障確率(loss of load probability)의 範圍內에서 計劃期間內에 最適의 系統投入順位(loading order)를 결정하여 信賴性 있는 電力供給系統의 組合을 제공하여 주는 방법이다. 이의 적용을 위해서는 각종 發電所의 基底負荷(base load) 및 尖頭負荷(peak load)에 관한 熱消費率(heat rate), 熱消費率에 대한 燃料費, 稼動率 및 補修計劃에 대한 資料가 필요시 된다.

1986年~1996年(10個年)의 長期計劃 수립에 사용된 入力資料는 표 1에 수록하였다. 1986年 까지의 計劃은 第4次 經濟開發 5個年 計劃을 기초로 하였으며, 1986年 이후에 고려한 發電形態는 500MWe, 800MWe, 1,000MWe 容量의 在來式 火力發電所와 900MWe, 1,200MWe 容量의 原子力 發電所 그리고 200MWe 容量의 gas turbine이다. 尖頭負荷 供給을 위해서 고려한 gas turbine은 水力 또는 揚水發電으로 代替될 수 있겠다. 豫備電力率의 想定에는 發電所의 outage rate, 運轉 補修計劃, 需要想定의 不確實性 및 發電所의 建設工期 지연등을 고려 하여야 한다. 1986年~1996年의 計劃期間 중에는 이러한 點을 감안하여, 電力供給의 신뢰성을 높이기 위하여 設備容量을 最大需要의 1.3~1.4倍의 範圍로 하고 이 범위내에 負荷供給支障 確率條件을 만족하는 可能한 發電系統의 組合을 選定하였다. 이렇게 얻은 負荷供給支障確率은 표 2에 수록하였다.

1976~1986年 期間중에는 政府에서 발표한 計劃

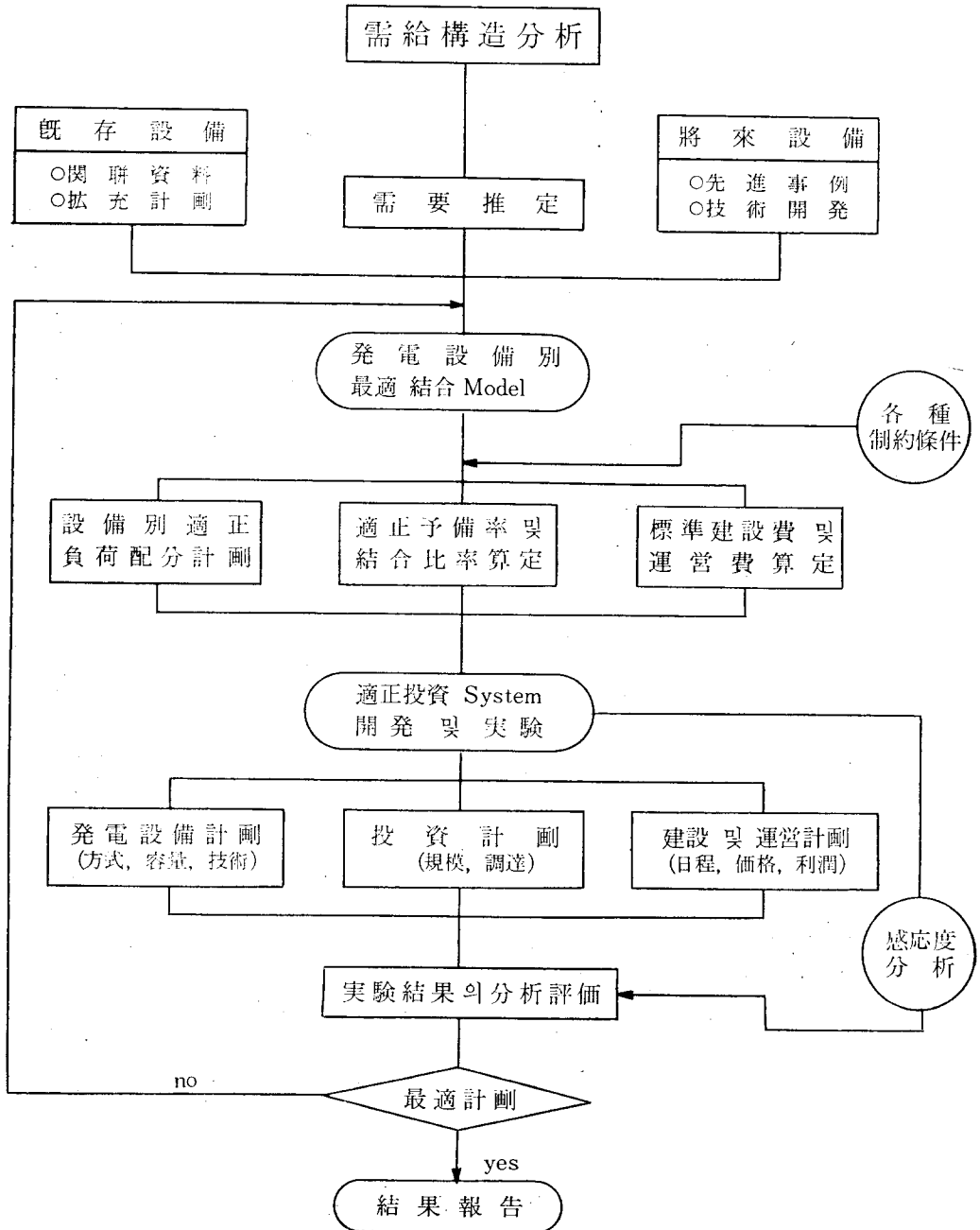


그림 1. O.R. 技法을 이용한 電源開發計劃 概略圖

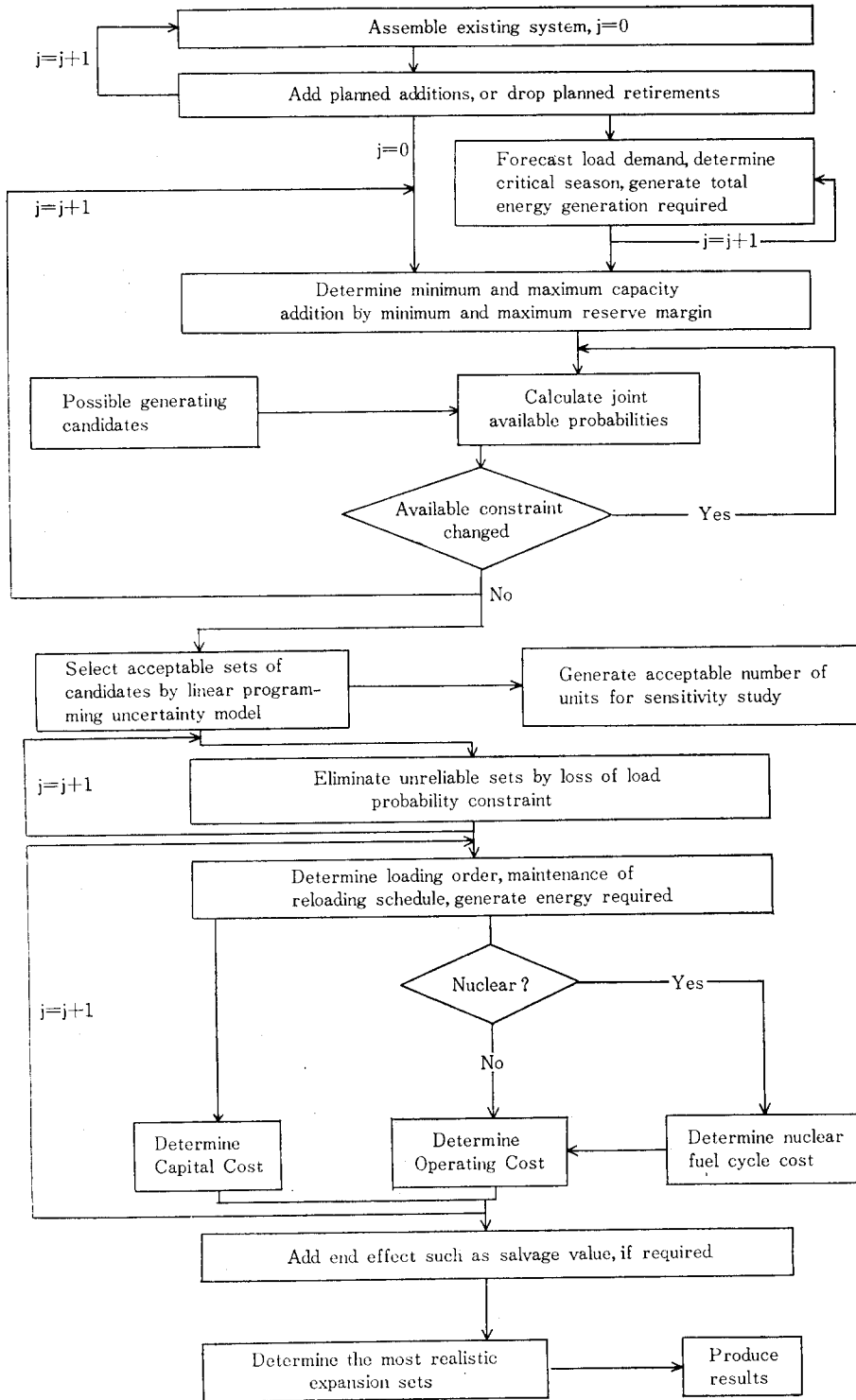


그림 2. 長期電力 計劃用 電子計算 프로그램의 計算過程

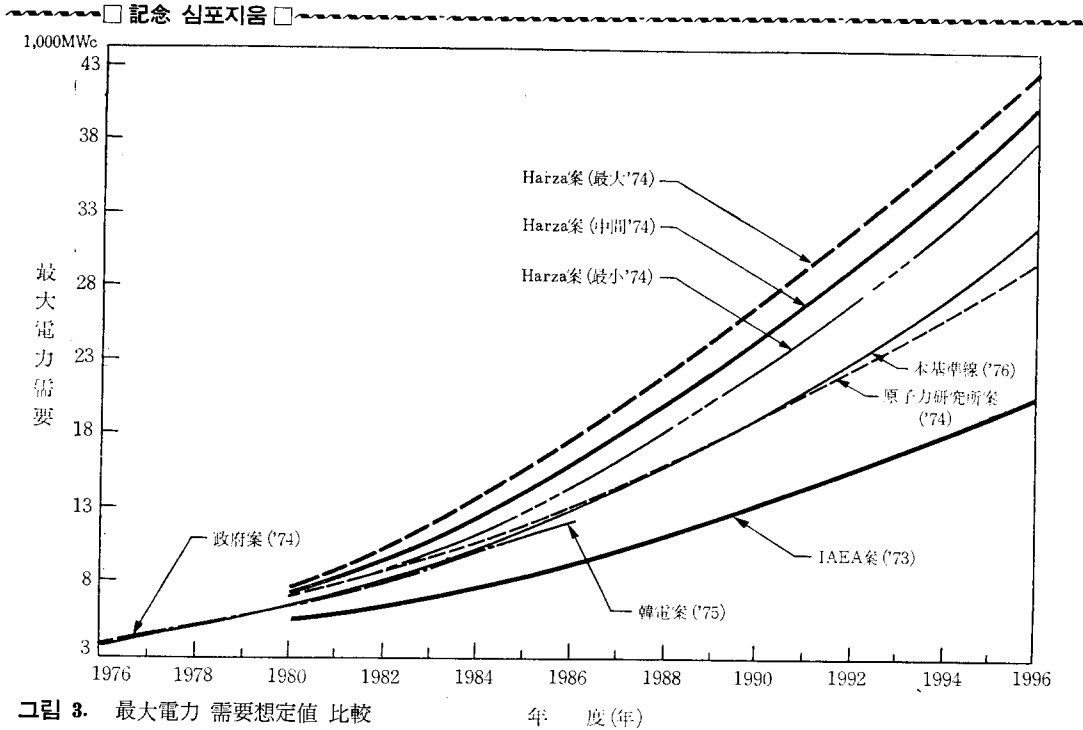


表 1. 長期計劃(1986~1996) 樹立에 使用한 1986년까지의 各種發電所의 特性
(價格基準年度: 1976)

發電所名 (略 語)	形 態	容 量 (MWe)	系統投入 順 位	基底負荷 熱消費率 (Kcal/ Kwh)	平均增加 熱消費率 (Kcal/ Kwh)	燃 料 費 (¢/10 ⁶ Kcal)	固定運營 與補修費 (\$/Kw- month)	Forced Outage Rate (%)	豫 想 補 修 (日/年)
HYDR	水 力	1,537	1	0	0	0	1.04	0.0	0
GOR1	原 子 力(輕水)	595×1	7	2,850	2,340	281	1.48	12.0	28
GOR2	" (輕水)	650×1	6	2,636	3,366	281	1.48	12.0	20
HWR1	" (重水)	679×1	5	2,635	2,366	190	1.72	12.0	35
LW56	" (輕水)	900×2	4	2,630	2,370	520	1.44	12.2	35
φ500	火 力(油)	500×9	11	2,326	2,135	850	1.04	6.5	28
φ300	" (")	300×5	12	2,328	2,172	900	1.06	6.5	28
φ200	" (")	300×1	15	2,280	2,146	990	1.08	6.5	28
YφC1	Combined Cycle	200×2	16	2,415	2,273	1,000	1.05	6.5	28
YφC2	"	100×2	24	2,526	2,314	1,010	1.05	6.5	28
φC12	火 力(混燒)	200×2	17	2,306	2,160	850	1.15	6.5	28
IN12	" (油)	250×2	18	2,360	1,970	926	1.04	6.0	28
YEDφ	" (")	125×1	25	2,570	2,350	729	1.10	6.0	21
SEφ5	" (混燒)	250×1	19	2,342	2,044	916	1.10	6.0	28
DGHA	" (油)	220×3	21	2,172	1,882	1,071	1.08	6.0	21
HφNM	" (")	300×2	14	2,530	2,248	909	1.06	6.5	28
YGNM	" (")	200×2	22	2,251	2,083	997	1.08	5.4	21
KGIN	" (")	162×2	23	2,520	2,196	1,000	1.09	5.3	21
YφS1	" (")	200×1	20	2,450	2,078	940	1.08	5.4	21
PU34	" (")	105×1	26	2,536	2,362	998	1.10	6.5	21
SEφ4	" (混燒)	138×1	27	2,600	2,322	853	1.16	7.5	21
YGWL	" (")	50×2	28	3,180	3,180	500	1.25	8.6	21

發電所名 (略 語)	形 態	容 量 (MWe)	系統投入 順 位	基底負荷 熱消費率 (Kcal/ Kwh)	平均增加 熱消費率 (Kcal/ Kwh)	燃 料 費 (¢ /10 ⁶ Kcal)	固定運營 及補修費 (\$ /Kw- month)	Forced Outage Rate (%)	豫 想 補 修 (日 /年)
GNSN	" (")	75×1	29	3,112	2,288	733	1.25	8.6	21
PULM	" (")	62×4	30	2,912	2,912	893	1.25	8.6	21
PPYG	" (內燃)	50×2	31	2,580	2,580	816	1.25	6.5	21
ULSN	Gas Turbine	50×3	32	4,000	4,000	1,148	1.25	2.0	4
IN34	火 力 (油)	325×2	13	2,335	2,183	900	1.06	6.5	28
PUST	Pumped Storage	1,100	34	0	0	0	1.16	0.0	0

표 2. 可能的發電系統의 數 및 負荷損失確率(1986~1996)

年 度	可 能 한 發 電 所 數 (累計)						負 荷 供 給 設 備 容 量 支 障 確 率 合 計 (10 ⁻⁴) (MWe)	
	500MWe 火 力	800MWe 火 力	1,000MWe 火 力	900MWe 原 子 力	1,200MWe 原 子 力	200MWe Gas Turbine		
1 9 8 7	1	0	0	0	1	1	0.009	19,454
1 9 8 8	2	0	0	0	2	2	0.025	21,354
1 9 8 9	4	1	0	0	3	3	0.003	24,554
1 9 9 0	5	1	0	0	4	4	0.007	26,454
1 9 9 1	5	1	0	0	5	5	0.053	27,854
1 9 9 2	5	2	1	0	6	6	0.024	31,054
	5	1	1	0	6	7	0.055	30,454
1 9 9 3	5	3	1	0	7	7	0.049	33,254
	5	2	2	0	7	7	0.040	33,454
	5	2	1	0	8	7	0.033	33,654
1 9 9 4	5	3	2	0	8	9	0.059	35,854
	5	2	3	0	8	9	0.048	36,054
1 9 9 5	5	2	2	0	9	9	0.039	36,254
	7	3	3	0	9	10	0.030	39,254
	6	3	4	0	9	10	0.018	39,754
1 9 9 6	6	3	3	0	10	10	0.015	39,954
	6	3	3	0	9	11	0.046	38,954
	9	3	4	0	10	11	0.030	42,654
	7	3	5	0	10	11	0.037	42,654
	7	3	4	0	11	11	0.031	42,854

을 이용 하였으며, 참고로 표-3에 추가하였다.

電力需要는 時間別, 日別, 月別, 季節別 및 年別로 變動 되는 바, 長期計劃 수립시에는 電子計算費用등을 고려할 때 計劃期間중의 季節別 負荷持續曲線(Seasonal load duration curve)을 數學的 多項式으로 變換하여 電子計算化하여 電力量을 산출하는 것이 바람직하다. 1980~1996년 기간 동안에 산출한 季節別 最大 및 最小需要, 要求되는 電力量 그리고 平均負荷率을 표 4에 표시하였다.

2.2 動的計劃技法을 이용한 經濟性이 最適인 計劃의 수립

計劃期間중에 經濟性을 最高로 하는 發電所 建設計劃을 수립하기 위해서는 그 期間중에 投入하여야 할 總費用을 最小로 하는 計劃을 選定하여야 한다. 즉 다음 目的函數를 最小로 하는 計劃을 찾아야 한다.

$$\text{目的函數} = [\text{建設費} + \text{各種運營費} - \text{殘存價值}]$$

표 3.

政府發表 10個年(1976~1986) 發電所 建設計劃

年 度	發 電 所 名	設 備 容 量 (MWe)	容 量 合 計 (MWe)	可 能 出 力 (MWe)	最 大 需 要 (MWe)	豫 備 力 (MWe)	備 考
1976	安 東 火 力	90				(8.1%)	
	麗 水 火 力	300	5,110	4,247	3,930	317	
1977	寧越, 群山 C/C	200×2				(9.1%)	
	古里原子力 # 1	595					
	仁川火力 # 3	325	6,430	4,897	4,488	409	
1978	仁川火力 # 4	325					
	寧越, 群山 C/C	100×2				(17.4%)	
	舊住十里廢止	△13	6,942	5,998	5,109	889	
1979	大 清 水 力	90					
	濟 州 (1次)	10				(11.3%)	
	嶺東火力 # 2	200	7,242	6,401	5,751	650	
1980	牙 山 # 1	300					
	清 平 揚 水	400					
	牙山火力 # 2	300					
	濟 州 (2次)	10				(20.1%)	
	新規火力 # 1	300	8,552	7,824	6,517	1,307	
1981	新規火力 # 2	300					
	石炭混燒 # 1	200					
	" # 2	200					
	新規火力 # 3	500				(24.0%)	
1982	臨 溪 水 力	153	9,905	9,040	7,288	1,752	
	月城原子力 # 1	678.7					
	新規火力 # 4	500					
	三浪洋揚水	300					
	陝川水力	80				(24.1%)	
1983	廢 止	△121.85	11,342	10,158	8,185	1,973	
	新規火力 # 5	200					
	" # 6	500					
	" # 7	500					
	古里原子力 # 2	650				(23.6%)	
	廢 止	△210	13,282	11,329	9,169	2,160	
	陝川揚水	400					
1984	麗州火力	30	13,712	12,540	10,252	2,287	
	新規火力 # 8	500					
	" # 9	500					
1985	新規原子力 # 5	900					
	臨 河 水 力	50					
	洪 川 水 力	63				(21.5%)	
	新規火力 # 10	500	16,225	13,921	11,462	2,459	
1986	新規火力 # 11	500					
	新規原子力 # 6	900					
	龍潭水力	160				(19.2%)	
	潮 力	400	18,185	15,223	12,769	2,454	

표 4. 長期計劃期間(1980~1996)중의 季節別 最大 및 最小需要 所要電力量 및 平均負荷率

年 度	봄		여름		가을		겨울		年 間		備考			
	最大負荷(MWe)	所要電力(GWh)	最小負荷(MWe)	所要電力(GWh)	最大負荷(MWe)	所要電力(GWh)	最小負荷(MWe)	所要電力(GWh)	最大負荷(MWe)	所要電力(GWh)				
1980	6,034	9,413	2,628	6,034	9,750	2,956	6,306	10,028	3,189	6,810	10,390	2,817	6,810	39,582
1981	6,610	10,312	2,879	6,610	10,681	3,238	6,908	10,985	3,493	7,460	11,382	3,086	7,460	43,360
1982	7,327	11,432	3,191	7,327	11,841	3,590	7,658	12,177	3,873	8,270	12,618	3,421	8,270	48,068
1983	8,134	12,689	3,543	8,134	13,144	3,985	8,501	13,517	4,299	9,180	14,006	3,798	9,180	53,357
1984	8,940	13,847	3,894	8,940	14,447	4,380	9,343	14,857	4,725	10,090	15,395	4,174	10,090	58,646
1985	10,171	15,869	4,430	10,171	16,437	4,984	10,631	16,904	5,376	11,480	17,156	4,750	11,480	66,725
1986	11,341	17,693	4,940	11,341	18,327	5,557	11,853	18,848	5,994	12,800	19,530	5,296	12,800	74,397
1987	12,661	19,753	5,515	12,661	20,460	6,204	13,233	21,042	6,692	14,290	21,803	5,912	14,290	83,058
1988	14,158	22,089	6,167	14,158	22,880	6,938	14,798	23,530	7,484	15,980	24,382	6,611	15,980	92,880
1989	15,571	24,292	6,782	15,571	25,162	7,630	16,274	25,877	8,230	17,574	26,814	7,271	17,574	102,145
1990	17,144	26,747	7,468	17,144	27,705	8,401	17,918	28,492	9,062	19,350	29,523	8,006	19,350	112,468
1991	18,845	29,401	8,209	18,845	30,454	9,234	19,696	31,320	9,961	21,270	32,453	8,800	21,270	123,627
1992	20,635	32,193	8,988	20,635	33,346	10,111	21,567	34,294	10,907	23,290	35,535	9,636	23,290	135,368
1993	22,487	35,082	9,795	22,487	36,339	11,019	23,502	37,371	11,886	25,380	38,724	10,501	25,380	147,516
1994	24,408	38,081	10,632	24,408	39,444	11,961	25,510	40,565	12,902	27,549	42,033	11,398	27,549	160,113
1995	26,527	41,386	11,555	26,527	42,868	12,999	27,724	44,086	14,022	29,940	45,681	12,388	29,940	174,020
1996	29,017	45,270	12,639	29,017	46,891	14,219	30,327	48,224	15,338	32,750	49,969	13,550	32,750	190,353
平均負荷率	71.24%		73.79%		72.61%		69.67%		66.35%					

여기서 각종 費用은 基準年度를 基準으로 現價化한 값이다. 建設費 및 殘存價値(Salvage Value)는 固定費가 되며, 各種運營費는 每年別 또는 年中各 季節別 發電所의 稼働率에 따라 좌우되는 비용이다. 즉 燃料費 및 運轉補修費가 여기에 포함된다.

計劃期間이 길어지면 길어질 수록, 負荷需要가 점점 늘어나기 때문에, 이를 충족시켜 줄 電力供給形態의 組合이 無限히 많게 되며, 따라서 위에서 언급한 目的函數를 最小로 하는 計劃을 찾기 위해서 計算時間이 無限히 늘어나게 되며 때로는 計算이 不可能 하기도 된다.

動的計劃(dynamic programming)은 벨만의 最適原理(Bellman's principle of Optimality)를 이용하여 불필요한 計算을 없애는 方法이며, 따라서 電子計算費用도 상당히 줄어들게 된다. 현재까지는 장기계획 수립을 위해서 動的計劃 技法이 가장 적절한 것으로 보인다.

여기서는 표 2에 표시된 22가지 가능한 發電供給組合 중에서 動的計劃을 이용한 電子計算 프로그램으로 얻은 1986년~1996년(10년간) 기간동안의 最適計劃을 표 5에 수록하였다.

표 5. 1987~1996期間中 最適發電所建設計劃

年 度	最 適 發 電 所 數 (累 計)					
	500 MWe 火力	800 MWe 火力	1,000 MWe 火力	900 MWe 原子力	1,200 MWe 原子力	200 MWe Gas Turbine
1987	1	0	0	0	1	1
1988	2	0	0	0	2	2
1989	4	1	0	0	3	3
1990	5	1	0	0	4	4
1991	5	1	0	0	5	5
1992	5	1	0	0	6	6
1993	5	2	1	0	7	7
1994	5	2	2	0	8	9
1995	6	3	3	0	9	10
1996	9	3	4	0	10	11

3. 結 論

長期 電源計劃을 효과적으로 수립 및 수행하기 위해서는 OR技法을 이용한 電子計算 프로그램의 導入活用이 바람직 하다. 특히 1973년도 「유류파동」 이후의 급격한 燃料費 上昇과 大單位 容量의 發電所 建設工期 지연과 같은 變動狀況에 能動的으로 對

하기 위해서는 더욱 그렇다. 電力의 效率的인 供給을 위해서는 發電系統은 물론 送·配電系統의 적절한 運營計劃이 병행되어야 한다. OR 技法이 電力事業에 줄 기여도는 앞으로 상당히 클 것으로 기대된다. 다시 말하면 發電所의 適定 補修費 査定문 제등이 시급히 해결되어야 하며, 이러한 문제들이 단계적으로 해결됨으로서 밝은 電力事業이 기대된다.

참 고 문 헌

1. P.E. Juhn, "Realistic long term electrical generation expansion planning in the face of future Uncertainties", Ph.D. Thesis, (Carnegie-Mellon University (1975).
2. Salmon., "Two computer Codes (REFCO and POW76) for calculating the fuel cycle cost of a nuclear powerreactor," ORNL-4695(1971).
3. Salmon, R., "User's manual for REFCO, a discounted cash flow code for calculating nuclear fuel Cycle costs", ORNL-TM-3709 (1972).
4. P.E. Juhn, "LONGP, a long term electrical generation planning package," Korea Atomic Energy Research Institute (Unpublished)
5. R.T. Jenkins, "WIEN automatic System planning package," OROL-4945 (1974).
6. KABAR, "원자력발전소 건설사업 종합진단", (1976.9)
7. 한국원자력 연구소, "원자력발전 계통연구(요약)", (1976.3)