

# 多數의 運用制約을 갖는 電力系統의 發電機 起動停止 計劃 算法

## A Heuristic Improvement for Unit Commitment Algorithm by Load Variation Rate in Multi-Constrained Power System

金 俊 鉉\* · 劉 仁 根\*\*  
(Joon-Hyun Kim · In-keun Yu)

### 요 약

本 論文에서는 動的計劃法에 의한 解法의 단점을 개선한 效果的인 日間 發電機 起動停止計劃 算法을 제안하였다. 특히, Hybrid DP에 의한 解析過程에서 고려해야 할 制約條件의 증가로 야기되는 解不在의 문제점을 해결하기 위하여 最善策뿐만 아니라 부분적으로는 次善策까지도 高찰대상에 포함함으로써 가능한 한 有用解가 보장되도록 하였다. 또한, 각 시간대의 負荷變化率을 근거로 次善策 高찰여부를 判定함으로써 全時間帶에서 高찰할 경우에 발생하는 計算上의 문제점을 해결하였으며, 모델系統에의 適用을 통하여 제안한 算法의 効用性을 立證하였다.

**Abstract**-An improved algorithm for optimal daily hydrothermal unit commitment is proposed in this paper. Especially, for the purpose of guarantee on the existence of feasible solution all the time, the secondary states as well as the primary state are considered at each step in the procedure of solution by Hybrid Dynamic Programming to solve the problem of which solution may not exist due to the increased number of constraints to be taken into account. The computational problem which may be caused in the course of considering secondary policies through whole steps of the period examined is solved by the heuristic judgement in every step taking load variation rates into account. The effectiveness of the algorithm has been demonstrated by applying it to a sample power system.

### 1. 序 論

考察期間中 주어진 制約條件을 만족시키면서 總運轉費用이 최소가 되도록 하는 發電機의 狀態組合을 구하는 發電機 起動停止計劃(Unit Commitment) 문제는 1959년 C. J. Baldwin 등에 의해 提案된 算法<sup>1)</sup>

을 시작으로 오늘날에 이르기까지 많은 研究<sup>2)</sup>가 진행되어 왔으나 아직도 大電力系統에 效果的으로 적용할 수 있는 算法에는 이르지 못하고 있는 실정이다.<sup>3)</sup>

이는 近年 原子力 및 新에화력의 점유율이 높아짐으로써 起動停止對象 發電機의 폭이 넓어지고, 이에 따른 制約條件의 증가등에 기인된 것으로 생각된다.

즉, 基底負荷用으로서의 原子力 점유율이 상대적으로 높아짐으로써 석탄화력 發電所의 負荷追從運轉 필요성이 대두되고, LNG 화력을 포함한 發電所

\* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授  
\*\* 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 專任講師 · 工博  
接受日字 : 1988年 1月 9日  
1次修正 : 1988年 5月 3日  
2次修正 : 1988年 8月 8日

의 燃料使用制約, 환경모준을 위한 發電可能時間制約 등 시대여건 변화에 따른 制約條件까지를 고려해야 되게 되었다.

이러한 發電機 起動停止計劃算法은 주로 發見의 技法<sup>4),5)</sup>과 여러가지 數理計劃法<sup>6)~9)</sup>에 의해 해결되고 있는데, 起動停止 문제의 特性上 이들 중에서도 특히 動的計劃法(Dynamic Programming : DP)을 효과적으로 이용할 수 있음이 입증되었다.<sup>10),11)</sup>

그런데 起動停止 대상 發電機 台數의 증가로 순수 DP법의 적용에 따른 문제점이 도출되어 이의 보완을 위한 算法들이 提案되었으나,<sup>12)~14)</sup> 前述한 바와 같이 고려해야 할 制約條件의 증가로 인해 從來의 算法으로는 解를 구할 수 없는 경우가 발생할 수도 있다.

본 論文에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Hybrid DP<sup>12)</sup>에 의한 解析(狀態遷移)過程에서 最善策뿐만 아니라 次善策까지도 고려할 수 있도록 함으로써, 가능한 한 有用解가 존재하도록 알고리즘을 改善하였다. 그런데 全 時間帶에서 모든 次善策을 고찰대상으로 할 경우 解析不可能 상태가 될 수도 있으므로 이의 해결방안으로 각 시간대의 負荷增減率과 平均 負荷增減率을 비교하여 그 크기에 따라 次善策의 고찰여부를 결정함으로써, 고찰대상 狀態數의 커라란 증가없이 所期의 목적을 달성할 수 있는 算法이 되게 하였다.

水力機와 使用 燃料制約이 있는 火力機(LNG 機 등)의 協調는 火力機의 增分燃料費를 매계변수로 하여 增分水單價를 구한다음 火力燃料費를 비교수정하는 방법<sup>15)</sup>을 사용하였고, 送電損失은 고정패널티 계수로 고려하였으며, 短期運用을 위한 信賴度지표인 安全性 函數<sup>16),17)</sup>를 도입하여 發電機의 사고로 인한 系統의 安全度 침해를 확률적으로 고려하였다.

본 論文에서 提案한 算法의 効用性을 立證하기 위해 23母線 24機 모델계통의 日間 起動停止計劃에 적용하고 그 結果를 검토하였다.

## 2. 考慮事項

最適한 發電機 起動停止計劃을 수립하기 위해서는 電力系統의 運轉狀態 및 制約條件을 실용적인 견지에서 충분히 고려할 수 있는 算法이 되어야 할 것이다. 따라서 본 論文에서는 다음과 같은 事項을 만족시키면서 가장 경제적인 計劃을 도출하는데 중점을 두었다.

1) 有効電力 需給條件

$$\sum_{i \in R} P_i^t + \sum_{j \in H, L} P_j^t - P_{TD}^t - P_{L}^t = 0 ; t \in T \quad (1)$$

단,  $P_{TD}^t = P_D^t + P_L^t$

2) 發電機의 有効出力制約

$$P_i \leq P_i^t \leq \bar{P}_i, U_i^t = 1 ; i \in R \quad (2)$$

$$0 \leq P_j^t \leq \bar{P}_j, U_j^t = 1 ; j \in H, L$$

3) 運轉予備力制約

$$\sum_{i \in M} \bar{P}_i U_i^t - \text{mid}(\bar{P}_i U_i^t) \geq P_{TD}^t ; t \in T \quad (3)$$

단,  $M = R + H + L$

4) 發電機의 最小 運轉時間制約

$$(U_i^t - U_i^{t-1}) \left( \sum_{\tau=t}^{t-1} U_i^\tau - \tau \tau_i \right) \leq 0 ; i \in R, t \in T \quad (4)$$

5) 發電機의 最小 停止時間制約

$$(U_i^t - U_i^{t-1}) (Z_i^{t-1} - \tau_i) \geq 0 ; i \in R, t \in T \quad (5)$$

단,  $Z_i^t = (Z_i^{t-1} + 1) (1 - U_i^t)$

6) 發電機의 日間 起動可能回數

$$\sum_{t \in T} |U_i^t - U_i^{t-1}| \leq \eta_i ; i \in R, t \in T \quad (6)$$

7) 同一母線에서 同時 起動可能한 發電機 台數

$$\sum_{i \in GP} U_i^t (1 - U_i^{t-1}) \leq \pi_i ; i \in R, t \in T \quad (7)$$

8) 水力 및 LNG機의 使用可能水量, 燃料

$$q_j \leq q_j^t \leq \bar{q}_j, U_j^t = 1 ; j \in H, L \quad (8)$$

단,  $Q_j = \int_0^T q_j^t(t) dt \rightarrow \text{一定} ; j \in H, L$

9) 同一母線에서의 最大 停止台數

$$\sum_{i \in GP} (U_i^t - U_i^{t-1}) \leq \rho_i ; i \in R, t \in T \quad (9)$$

10) 火力機의 最大 運轉時間(公害制約)

$$\sum_{m=1}^{t-1} U_i^m \leq \tau_{ui} ; i \in R, t \in T \quad (10)$$

이상에서 記述한 制約條件中 1) 및 2)는 發電費用 계산을 위한 經濟給電算法에서, 3)은 고찰대상 組合 구성과정에서 각각 처리되고, 4)~7) 및 9), 10)은 DP에 의한 狀態遷移過程에서 처리되며, 8)은 水力 協調算法으로 처리된다.

## 3. DP에 의한 定式化

$F_i^*(k)$ 를 시각  $t$ , 狀態  $k$ 에서 이루어질 수 있는 最小 運轉費用이라 하면 DP의 汎函數式은 다음과 같이 된다.

$$F_i^*(k) = \text{Min}_j \{ F_i^*(j) + C(j, k) \} ; t \in T \quad (11)$$

여기서,

$$C(j, k) = \{ C_T(j, k), C_P(j, k) \} \quad (12)$$

단,  $C_T(j, k) = \{ C_T^g(k), C_T^p(j, k), C_T^r(j, k) \}$

; 遷移費用

$C_P(j, k) = \{ C_P^g(j, k), C_P^p(j, k), C_P^r(j, k),$

$C_P^o(j, k), C_P^s(j, k), C_P^d(j, k), C_P^e(j, k) \}$

; 패널티 비용

따라서, 시각  $t$ , 狀態  $k$ 에서의 병렬 發電機 組合

을  $'U^k$ 라 하고 시각  $t-1$ , 상태  $j$ 에서의 組合을  $'U^j$ 라 하면 시각  $t$ , 상태  $k$ 까지의 總 運轉費用  $\phi_t^k$ 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\phi_t^k(t-1U^j, 'U^k) = \sum_{i \in R} f_i^t(P_i^t) + \sum_{i \in R} SC_i^t(Z_i^{t-1}) + \sum_{i \in R} DC_i^t + P_c^t('U^k) + P_c^t(\tau h_i) + P_c^t(\tau l_i) + P_c^t(\eta_i) + P_c^t(\pi_b) + P_c^t(\rho_b) + P_c^t(\tau u_i) + F_{t-1}(t-1U^j) \quad (13)$$

단,  $t \in T, j \in 2^R, k \in 2^R$

윗 식의 각 項을 식 (12)에 대응시키면

$$C_T^f(k) = \sum_{i \in R} f_i^t(P_i^t) ; \text{發電費用} \quad (14)$$

$$C_T^s(j, k) = \begin{cases} \sum_{i \in R} SC_i^t(Z_i^{t-1}), j \neq k \\ 0, j = k \end{cases} ; \text{起動費用} \quad (15)$$

$$C_T^z(j, k) = \begin{cases} \sum_{i \in R} DC_i^t, j \neq k \\ 0, j = k \end{cases} ; \text{停止費用} \quad (16)$$

$$C_T^c(j, k) = P_c^t('U^k) ; \text{安全性 函數에 대한 페널티 비용} \quad (17)$$

$$C_T^h(j, k) = P_c^t(\tau h_i) ; \text{最小 運轉時間에 대한 페널티 비용} \quad (18)$$

$$C_T^l(j, k) = P_c^t(\tau l_i) ; \text{最小 停止時間에 대한 페널티 비용} \quad (19)$$

$$C_T^\eta(j, k) = P_c^t(\eta_i) ; \text{日間 起動可能回數에 대한 페널티 비용} \quad (20)$$

$$C_T^\pi(j, k) = P_c^t(\pi_b) ; \text{同一母線에서의 同時起動台數에 대한 페널티 비용} \quad (21)$$

$$C_T^\rho(j, k) = P_c^t(\rho_b) ; \text{同一母線에서의 最大停止台數에 대한 페널티 비용} \quad (22)$$

$$C_T^u(j, k) = P_c^t(\tau u_i) ; \text{最大 運轉時間에 대한 페널티 비용} \quad (23)$$

$F_{t-1}^*(j) = F_{t-1}(t-1U^j)$  ; 狀態  $j$ 까지의 最小費用(24)로 되며, 發電費用은 等増分 燃料費法에 의해 계산되고, 起動費用은 停止持續時間의 함수로, 停止費用은 一定費用으로 각각 고려된다. 또한 식 (17)~(23)의 페널티 비용은 制約條件의 만족 여부에 따라 零 또는 상당히 큰 값을 갖게 된다.

이제, 식 (13)을  $\{t-1U^j\}$ 에 대해 最小化하면

$$F_t^*(t-1U^j, 'U^k) = \min_{t-1U^j} \{ \phi_t^k(t-1U^j, 'U^k) \} ; t \in T \quad (25)$$

와 같이 되고, 식 (25)가 火力機 起動停止 문제의 最小化 目的函數이다.

### 4. 알고리즘의 改善

식 (11)로 표현되는 汎函數式에서  $F_{t-1}^*(j)$ 는 시각  $t-1$ , 상태  $j$ 까지의 最小 累積費用이며,  $C(j, k)$ 는 狀態遷移費用으로서 해당 狀態의 發電費用, 起動費

用, 停止費用 및 制約條件에 대한 페널티 비용 등으로 구성된다.

이 때 페널티 비용은 고려사항에서 기술한 制約條件中 한가지만 위배하더라도 상당히 큰 값을 갖게 되므로 그 組合은 사실상 고찰대상에서 제외되게 되어 制約條件이 많은 경우 解가 존재하지 않을 수도 있다.

이는 식 (11)에서 알 수 있는 바와 같이 시각  $t$ , 상태  $k$ 에서의 최소누적비용  $F_t^*(k)$ 는 시각  $t-1$ , 상태  $j$ 에 대해서 最少의 遷移費用을 갖는 狀態 하나(決定)만을 선택하게 되므로 可能解를 위한 유인성이 적고, 解의 존재여부가 制約條件의 多少에 크게 좌우된다.

본 論文에서는 可能解에 대한 유인성 提高를 위한 방안으로  $F_t^*(k)$ 를 구하는 過程에서 狀態  $k$ 에 대해 最小 累積費用을 갖는 組合을 1차적으로 선택하고 經해진 범위내의 나머지 組合도 고려될 수 있도록 함으로써 多數의 制約條件 때문에 야기되는 문제점을 해결하고, 가능한 한 可能解가 보장되도록 알고리즘을 改善하였다.

그런데 全 考察期間에 대해 이 방법을 적용할 경우 각 時間帶에서 고찰해야 할 組合數가 필요 이상으로 많아지게 되고, 이에 따른 計算時間 및 記憶容량이 현저하게 증가될 것이므로 가능한 한 可能解를 확보하면서 考察對象 狀態數를 줄여야 한다.

이를 위한 방안으로 본 論文에서는, DP에 의한 發電機 起動停止 計劃問題에서 制約條件이 많아질 경우 문제가 되는 것은 負荷가 급격하게 변화하여 동시에 起動 또는 停止시켜야 할 發電機 台數가 많을 때, 특히 이중에서도 起動시켜야 할 發電機 台數가 많을 때 2장의 고려사항에서 기술한 대부분의 制約條件 침해요인이 발생함에 주목하여 全 고찰기간의 平均 負荷増減率( $L_T^m$ )과 時間帶別 負荷増減率( $L_{tT}^i$ )을 산정하고, 이를 비교하여 해당 시간대의 부하증감률이 平均치보다 클 경우에만 2次組合을 구성하도록 하는 發見的 技法을 提案 適用하였다.

$$L_{tT}^i = \frac{|P_b^t - P_b^{t-1}|}{P_b^{t-1}}, t \in T \quad (26)$$

$$L_T^m = \frac{\sum L_{tT}^i}{T-1}, t \in T \quad (27)$$

따라서, 식 (11)은

$$F_t^*(k) = \min_j \{ F_{t-1}^*(j) + C(j, k) \} ; t \in T, * \in P, S \quad (28)$$

$$F_t^*(k) = \begin{cases} \min_j \{ F_{t-1}^*(j) + C(j, k) \}, L_{tT}^i > L_T^m \\ \infty, \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (29)$$

로 표현되고, 식 (25)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_t^*(t-1U^j, 'U^k) = \min_{t-1U^j} \{ \phi_t^k(t-1U^j, 'U^k) \} ; t \in T, * \in P, S \quad (30)$$

본 논문에서 送電損失은 고정 패널터 계수로 고려하였고, 水力機의 協調는 火力機의 増分燃料費  $\lambda$  를 매개변수로 하여 増分水單價  $\nu$  를 구한 다음 火力燃料費를 비교 수정하는 방법을 사용하였다. 즉, 초기에는  $P_i \rightarrow P_i^{min}$ 로 고정하여 火力機만의  $\lambda$  를 이용  $\nu$  를 구하고, 다음 단계부터는  $\nu$  에 의해 水力機를 火力機로 변환한 다음  $\lambda$  를 구하며, 總發電費用을 비교하여 諸量들을 수정토록 하였다. 또한 LNG 機의 協調도 水力機와 同하게 처리하였다.

5. 모델系統에의 適用

본 논문에서 提案한 發電機 起動停止計劃 算法의 효용성을 입증하기 위하여 그림 1과 같은 모델系統의 日間發電計劃에 적용하고 그 結果를 검토·제시하였다.

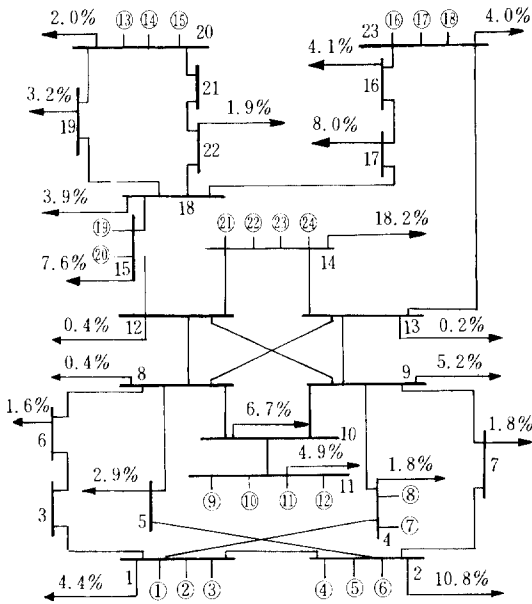


그림 1 모델系統圖  
Fig. 1 Model power system.

그림 1에서 백분율로 표시한 것은 각 母線에서의 負荷 점유율이고, 24대의 發電機中 4번 母線의 7, 8호 發電機는 LNG機이며, 15번 母線의 19, 20호는 水力機이다.

표 1은 모델系統의 發電機 定數를 나타낸 것이고, 표 2는 기동정지대상 發電機의 初期狀態 및 起動停止

특성을 나타낸 것이다.

또한 표 3은 시간대별 負荷增減率을, 표 4는 提案한 算法에 의해 구한 起動停止計劃 結果를 나타낸 것이다.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 日間負荷의 平均 변화율이 2.337(%)이며, 이 값보다 큰 변화율은 8개(1, 5, 6, 8, 9, 12, 18, 23)인데, 이들은 각각 이산적으로 존재하고 특히 계속해서 次善策을 고려해야할 시간대는 한번(8, 9) 뿐이므로 制約條件에 따른 문제는 물론 計算上에서도 큰 문제없이 解를 구할 수 있다.

그림 2는 모델系統의 日間 負荷曲線과, 發電機의 安全性을 고려하기 전후의 計劃容量을 나타낸 것으로, 빗금친 부분은 水力 및 LNG機로 감당하게 되는 負荷이다.

그림 3은 安全性 函數 및 發電費用의 變化推移를 나타낸 것으로, 安全度에 대한 限界를 0.2로 두었을 때 發電費用이 빗금친 부분(0.17%)만큼 증가하게 되는데 이는 發電機의 事故위험에 대비한 運轉 패턴의 變化로 増分費用이 부분적으로 높아졌음을 의미하는 것이며, 이로 인해 사고위험은 최대치(0.57)에서 0.2이하로 낮아졌음을 알 수 있다.

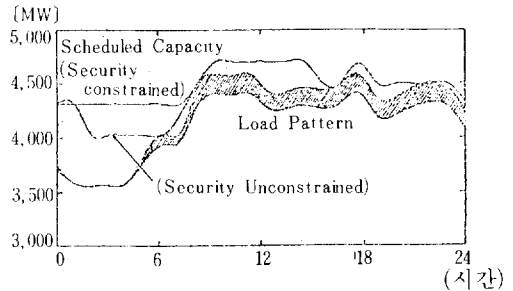


그림 2 負荷 및 計劃容量曲線  
Fig. 2 Load pattern and scheduled capacity.

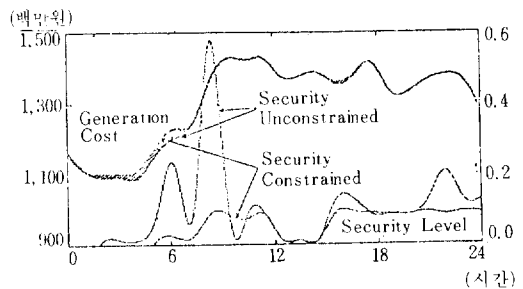


그림 3 Security function 및 發電費用의 變化推移  
Fig. 3 The variation of generation cost and security function.

丑 1 發電機 定數

Table 1 Parameters of generating units.

INPUT DATA FOR TP (*BRITH-85*UTHNN*06IP)															
NO	TYPE	NAME	UNIT	P MIN	P MAX	AA	BB	CC	COST	P. F	L-MIN	L-MAX	R	MU	FS
			EA	[MW]	[MW]	P**	P*		[천원]						
1	T	UT14	1	70.0	100.0	0.00441	1.76033	126.10672	16.539	1.032	40.584	45.100	0.00047	0.0520	0.01
2	T	UT10	1	90.0	180.0	0.00107	1.94354	52.78449	16.539	1.078	38.085	41.519	0.00069	0.0610	0.01
3	T	UT09	1	90.0	180.0	0.00107	1.94354	52.78449	16.539	1.032	36.460	39.748	0.00050	0.0510	0.01
4	T	UT03	1	120.0	190.0	0.00098	1.89809	57.33759	16.539	1.073	37.858	40.293	0.00029	0.0350	0.01
5	T	UT13	1	90.0	200.0	0.00411	1.76033	126.10697	16.539	1.103	45.609	62.104	0.00047	0.0520	0.01
6	T	UT21	1	180.0	285.0	0.00087	1.74287	105.74299	16.539	1.103	37.508	40.841	0.00046	0.0510	0.01
7	T	UT22	1	180.0	309.0	0.00087	1.74287	105.74299	16.539	1.067	36.284	40.245	0.00047	0.0420	0.01
8	T	UT11	1	200.0	380.0	0.00066	1.69351	125.02899	16.539	1.037	33.573	37.648	0.00035	0.0550	0.00
9	T	UT12	1	200.0	380.0	0.00066	1.69351	124.02899	16.539	1.031	33.379	37.430	0.00038	0.0550	0.00
10	T	UT16	1	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.659	1.031	33.207	37.169	0.00059	0.0240	0.00
11	T	UT17	1	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.659	1.031	33.207	37.169	0.00050	0.0580	0.00
12	T	UT18	1	175.0	333.0	0.00073	1.67791	111.61200	16.659	1.055	33.980	38.034	0.00040	0.0150	0.00
14	T	UT23	1	70.0	120.0	0.00158	1.99502	40.06699	14.060	1.036	32.282	34.583	0.00048	0.0170	0.00
14	T	UT15	1	80.0	163.0	0.00859	1.99130	36.92865	10.125	1.007	34.316	48.855	0.00066	0.0080	0.00
15	T	UT01	1	70.0	154.0	0.00364	1.37487	76.97529	16.272	1.107	33.945	44.961	0.00050	0.0520	0.00
16	T	UT02	1	70.0	154.0	0.00364	1.37487	77.97529	16.272	1.035	31.737	42.036	0.00080	0.0720	0.00
17	T	UT24	1	100.0	238.0	0.00194	1.34467	127.01199	14.000	1.045	25.349	33.182	0.00040	0.0360	0.00
18	T	UT04	1	100.0	238.0	0.00194	1.34467	127.01199	14.000	1.095	26.562	34.770	0.00044	0.0320	0.00
19	T	UT05	1	100.0	238.0	0.00194	1.34467	125.01199	14.000	1.093	26.513	34.707	0.00044	0.0280	0.00
20	N	UT06	1	650.0	650.0	0.00008	1.00000	12.23300	3.243	1.001	3.584	3.584	0.00070	0.0080	0.00
21	L	UT07	1	25.0	100.0	0.00382	1.69660	32.00000	1.000	0.999	74.511	202.042	0.00010	0.0040	0.00
22	L	UT08	1	25.0	80.0	0.00282	1.99660	26.00000	1.000	0.999	71.986	181.954	0.00010	0.0040	0.00
23	H	UT19	1	30.0	57.0	0.01866	2.18551	5.90187	1.000	1.000	73.027	132.540	0.00010	0.0040	0.00
24	H	UT20	1	25.0	50.0	0.02847	2.02883	5.35891	1.000	1.000	56.791	108.224	0.00010	0.0040	0.00

丑 2 起動停止 特性

Table 2 Characteristics of UC generators.

***** INIT. CONDITION ***** (NG=20, NH=02, NL=02, NA=06)										
NO	NAME	XO	TM	SA (TA)	SB (TB)	SC	SD	TL	TH	TU
1	UT14	0	-5.0	97. (3.0)	187. (6.0)	29.67	26.	-3.0	4.0	9.0
2	UT10	0	-5.0	100. (4.0)	200. (7.0)	33.33	30.	-4.0	5.0	10.0
3	UT09	0	-5.0	100. (4.0)	200. (7.0)	33.33	28.	-4.0	5.0	8.0
4	UT03	0	-5.0	106. (4.0)	206. (8.0)	31.00	40.	-4.0	5.0	10.0
5	UT13	0	-5.0	116. (4.0)	216. (8.0)	34.75	45.	-4.0	5.0	12.0
6	UT21	1	5.0	256. (5.0)	456. (9.0)	56.00	78.	-5.0	6.0	24.0

丑 3 負荷變化率

Table 3 Load variation rate.

L <sub>T</sub> <sup>0</sup> = 2.337								
IT	1	2	3	4	5	6	7	8
L <sub>T</sub> <sup>1</sup>	4.352	0.670	0.056	0.758	7.388	4.829	1.139	9.452
IT	9	10	11	12	13	14	15	16
L <sub>T</sub> <sup>2</sup>	2.573	0.305	0.175	3.516	0.023	0.860	0.449	1.330
IT	17	18	19	20	21	22	23	
L <sub>T</sub> <sup>3</sup>	1.758	4.702	0.000	2.180	1.145	0.999	5.091	

丑 4 起動停止計劃 結果

Table 4 Results of unit commitment.

CAP	SCOST	DCOST	TCOST	RAM	MIT	SF	TIME					
4308.	0.	0.	115502.	36.56	32	0.000000	-5.	-5.	-5.	-5.	-5.	5.
4308.	0.	0.	111003.	36.03	32	0.000000	-6.	-6.	-6.	-6.	-6.	6.
4308.	0.	0.	110171.	35.93	32	0.000000	-7.	-7.	-7.	-7.	-7.	7.
4308.	0.	0.	110240.	35.94	32	0.000000	-8.	-8.	-8.	-8.	-8.	8.
4308.	0.	0.	111177.	36.06	32	0.000000	-9.	-9.	-9.	-9.	-9.	9.
4308.	0.	0.	118146.	36.85	32	0.062338	-10.	-10.	-10.	-10.	-10.	10.
4308.	0.	0.	123229.	37.51	32	0.072636	-11.	-11.	-11.	-11.	-11.	11.
4308.	1753.	0.	124738.	37.80	32	0.072618	-12.	-12.	-12.	-12.	-12.	12.
4498.	1919.	0.	136714.	39.45	40	0.135031	-13.	-13.	-13.	0.	-13.	13.
4698.	0.	0.	142742.	39.63	56	0.128515	-14.	-14.	-14.	1.	0.	14.
4698.	0.	0.	142309.	39.53	56	0.120261	-15.	-15.	-15.	2.	1.	15.
4698.	0.	0.	142557.	39.59	56	0.129447	-16.	-16.	-16.	3.	2.	16.
4698.	0.	0.	137646.	38.40	56	0.062093	-17.	-17.	-17.	4.	3.	17.
4698.	0.	0.	137616.	38.40	56	0.062043	-18.	-18.	-18.	5.	4.	18.
4698.	0.	744.	138761.	38.68	56	0.061995	-19.	-19.	-19.	6.	5.	19.
4498.	0.	0.	135638.	39.19	40	0.133924	-20.	-20.	-20.	7.	0.	10.
4498.	1654.	0.	137455.	39.62	40	0.136985	-21.	-21.	-21.	8.	-1.	21.
4678.	0.	662.	141435.	39.03	44	0.133062	-22.	-22.	0.	9.	-2.	22.
4488.	0.	0.	133405.	38.57	36	0.129444	-23.	-23.	1.	0.	-3.	23.
4488.	0.	0.	133405.	38.57	36	0.129367	-24.	-24.	2.	-1.	-4.	24.
4488.	0.	0.	136319.	39.28	36	0.137429	-25.	-25.	3.	-2.	-5.	25.
4488.	0.	0.	137905.	39.66	36	0.129757	-26.	-26.	4.	-3.	-6.	26.
4488.	0.	463.	136505.	39.32	36	0.137478	-27.	-27.	5.	-4.	-7.	27.
4308.	0.	0.	128021.	38.77	32	0.133687	-28.	-28.	0.	-5.	-8.	28.
107572.	5326.	1869.	3122640.									

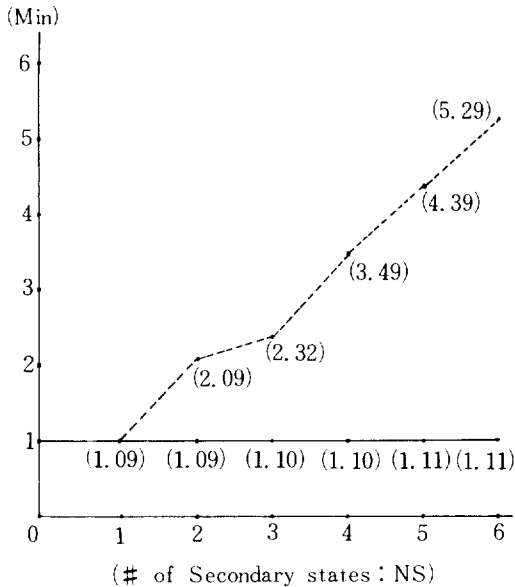


그림 4 次善策數와 計算時間의 比較  
 Fig. 4 Comparison of computation time with NS.

그림 4는 본 論文에서 제안한 算法에서의 次善策數와 計算時間의 關係를 比較한 것으로, 그림에서 實線은 時間帶別 변화율에 의해 次善策의 高찰여부를 결정한 경우의 關係를, 點線은 매시간대마다 次善策을 고려했던 경우의 關係를 각각 나타낸 것이다. 여기서 일 수 있는 바와 같이 次善策數를 고찰여부의 결정인수로 이용할 경우 그 수에 關係 없이 計算時間이 거의 일정하고, 순수 DP의 경우와 거의 같은 값(1.0, 次善策數=0)을 갖게 되나, 매 시간대마다 次善策을 고찰하는 경우에는 그 수의 증가와 더불어 計算時間이 급격히 증가하게 되어 고찰시간이 길어짐에 따라 計算上의 문제점이 야기된다.

따라서, 본 論文에서 제안한 알고리즘은 항상 有用解를 보장하면서도 이에 따른 계산상의 문제점이 없으므로 日間, 週間計劃은 물론 그 이상의 計劃樹立에도 이용할 수 있음이 입증되었다.

### 6. 結 論

본 論文에서는 최근 電力系統 주변여건의 변화로 短期發電計劃 수립시 고려해야할 運用制約이 많아짐에 따라 이들을 적절히 처리할 수 있는 發電機 起動停止計劃 算法을 제안하고, 事例研究를 통하여

그 効用性을 立證하였으며, 結果를 요약하면 다음과 같다.

1) 起動停止計劃 算法에서 기본적으로 고려해야 할 運用制約 이외에 發電機의 使用可能 燃料制約 및 最大 運轉可能時間까지를 고려할 수 있도록 하였다.

2) 制約條件數의 증가로 Hybrid DP에 의한 算法에서는 起動停止대상 發電機의 台數(NA : No. of Alternatives)에 따라 解의 존재 여부가 크게 좌우되고 심할 경우 解가 존재하지 않을 수도 있지만 제안한 算法에서는 NA에 큰 영향을 받지 않는다.

3) 특히 負荷의 變化가 큰 시간대에서 制約條件의 複雜度가 많음에 착안하여 각 시간대의 負荷 變化率을 근거로 2次組合의 검토여부를 판정함으로써 記憶容量과 計算時間을 가능한 한 단축시키면서 有用解가 보장되도록 하였다.

4) 近年 系統의 安全度가 중요한 문제로 부각됨에 따라 본 論文에서는 發電機의 安全性만을 고려했으나, 線路의 事故(想定事故)와 發電機의 負荷追從能力까지를 고려할 수 있는 算法의 研究가 요망된다.

### 참 고 문 헌

- 1) C.J. Baldwin, K.M. Dale, R.F. Dettrich, "A study of economic shutdown of generating units in daily dispatch," AIEE Trans. on PAS, vol. PAS-78, 1959.
- 2) IEEE Working Group Report "Description and bibliography of major economy-security functions-part I-descriptions," IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-100, 1981.
- 3) A.J. Wood, B.F. Wollenberg "Power generation, operation, and control" John Wiley & Sons, New York, 1984.
- 4) R.H. Kerr, A.J. Fontana, J.L. Schdit, J.K. Wiley, & "Unit commitment," IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-85, 1966.
- 5) H.H. Happ, R.C. Johnson, W.J. Wright "Large scale hydrothermal unit commitment method and results," IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-90, 1971.
- 6) C.K. Pang, H.C. Chen "Optimal short-term thermal unit commitment," IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-95, 1976.
- 7) G.S. Lauer, D.P. Bertsekas, N.R. Sandell, T.A. Posbergh "Solution of large scale optimal unit

- commitment problems" PICA Conf. -81, Philadelphia, 1981.
- 8) R. Nieva, A. Inda, I. Guillen "Lagrangian reduction of search-range for large scale unit commitment" IEEE Trans. on PWRS, vol. PWRS-2, 1987.
  - 9) 電力中央研究所報告, '火力發電機群의 起動停止計劃 手法의 開發 I, II', 日本電力中央研究所, 研究報告-185027, T 86040, 1987.
  - 10) M.Held, R.M.Karp "A Dynamic Programming approach to sequencing problems" J.Soc. Indust. Appl. Math., vol. 10, 1962.
  - 11) W. L. Snyder, H.D. Powell, J.C. Rayburn "Dynamic Programming approach to unit commitment" IEEE Trans. on PWRS, vol. PWRS-2, 1987.
  - 12) 金俊鉉, 黃甲珠, 劉仁根 "Hybrid DP에 의한 電力系統의 發電機 並列壹數 決定에 관한 研究" 電氣學會論文誌 第33卷 第4號, 1984.
  - 13) 金俊鉉, 劉仁根 "電力系統의 最適 發電機 起動停止計劃 算法에 관한 研究" 電氣學會論文誌 第34卷 第6號, 1985.
  - 14) W. J. Hobbs, G. Hermon, S. Warner, G.B. Sheble "An enhanced Dynamic Programming approach for unit commitment" IEEE Summer Meeting Paper, 87-SM 469-0, 1987.
  - 15) 金俊鉉, 黃甲珠, '等價化法에 의한 經濟給電', 電氣學會誌 第30卷 第12號, 1981
  - 16) A.D. Patton "Short-term reliability calculation" IEE Trans. on PAS, vol. PAS-89, no. 4, 1970.
  - 17) 金俊鉉, 劉仁根 "發電系統의 信賴性을 고려한 發電機 並列壹數 決定에 관한 研究" 電氣學會論文誌, 제33권 제10호, 1984.