

發電系統의 信賴性を 고려한 發電機 並列台數 決定에 관한 研究

論 文
33~10~2

A Unit Commitment Study considering Generation System Reliability

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

Abstract

This paper proposes an improved unit commitment algorithm for the purpose of rational operation of electric power systems.

Security function is introduced to consider generation system reliability as well as economical properties in the algorithm.

As a state model for assessment of state probabilities, the 3-state model in which the probability of the units for commitment can be considered is proposed and applied, so that the algorithm becomes more practical and reasonable one.

A decision bounding scheme which can be applied to all kinds of system is described and the numerical results obtained for KEPCO and model systems are also presented to assure the availability of the proposed technique.

1. 緒 論

電力系統 運用합리화 方案의 일환으로 發電機 並列臺數 決定算法 (Unit Commitment : UC)은 중요한 研究대상이 되어왔다.^{1,2}

UC 문제의 일반적인 목적은 考察期間中에 주어진 制約條件을 만족하면서 총 運用費用이 最少가 되도록 並列 發電機群을 결정하는 것이지만, 近年 系統의 安全運用 추세로 系統信賴度가 중요한 문제로 대두됨에 따라, UC 문제에서도 系統의 信賴도를 고려한 算法들이 연구 발표되고 있다.^{3~6}

일반적인 信賴도의 표현법으로는 電力不足確率 (Loss of Load Probability : LOLP) 및 頻度-持續時間 (Frequency and Duration : F & D) 범등이 잘 알려져 있는데, 이들은 長期를 고찰대상으로 할 경우에 적합하며, 日間과 같은 短期運用に 사용하는 것은 불합리하다.

이와같은 短期運用に 위한 信賴度 指標로 Patton 은 security function (sf)을 제안하였다.⁶ 이때 sf 는 어떤 狀態가 系統의 信賴도를 침해할 確率이며, 이것을 算定하기 위해서는 적절한 狀態모델을 設定하여 狀態確率을 구해야한다.

따라서, 다양한 系統狀態를 합리적으로 표현할 수 있는 동시에 計算量과 記憶量을 절감할 수 있는 실용적인 狀態모델을 개발하는 것이 중요한 문제가 된다.^{7~10} 특히 發電機의 起動을 수반하는 UC 문제에서는 起動時 발생할 수도 있는 起動失敗를 고려하기 위한 狀態모델이 필요하다.

본 研究에서는 이점에 주목하여 UC 대상 發電機의 起動失敗를 確率的으로 고려할 수 있는 狀態모델을 제안하여 정식화하고, 이로부터 sf의 算定에 필요한 狀態確率을 계산하였다.

즉 系統구성 發電機중 基底負荷를 담당하는 發電機와 UC 대상 發電機중 운전중인 發電機에 대해서는 2-狀態모델을 적용하고, 고찰기간중 起動하는 發電機에 대해서는 제안한 3-狀態모델을 적용하여 起動失敗確率을 고려함으로써 實用性を 提高하는데 중점을 두었다.

*正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授
**正 會 員 : 漢陽大 大學院 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1984年 7月 22日

본 研究에서 도입한 UC 문제 해법의 基本理論은 Hybrid DP¹⁾인데, 여기서의 ϵ 값에 의한 決定除去技法은 그 값의 선정여하에 따라서는 解의 最適性을 침해할 우려가 있는 문제점을 내포하고 있다.

본 研究에서는 이점을 보완하기 위해 發電機의 最少 運轉 및 停止時間制約의 개념을 확장시킨 새로운 決定除去技法을 提案, 적용함으로써 算法의 柔軟性을 높였다.

提案한 算法의 効用性을 立證하기 위해 모델系統과 實系統의 日間 發電計劃에 각각 적용하여 그 結果를 提示 및 검토하였다.

2. 發電機의 狀態모델

2-1 2-狀態모델

系統구성 發電機중 基底負荷를 담당하는 發電機와, UC 대상 發電機중 운전중인 發電機에 대해서는 그림 1과 같은 2-狀態모델을 이용하여 sf 算定에 필요한 狀態確率을 구한다.

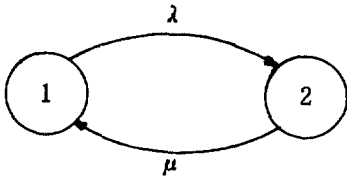


그림 1. 2-狀態모델의 狀態공간도

Fig. 1. The state space diagram of 2-state model

그림 1에서 1과 2는 發電機의 運轉狀態와 事故停止狀態를, λ 와 μ 는 事故發生率과 復舊率을 나타내며, 여기서 λ 와 μ 는, 시간에 관계없이 일정한 것으로 가정하면, 각각 다음식에 의해 구해진다.

$$\lambda = 1 / \text{平均 運轉持續時間} \quad (1)$$

$$\mu = 1 / \text{平均 事故持續時間} \quad (1)$$

이제 시간 t 에서의 狀態確率 $P_1(t)$ 와 $P_2(t)$ 를 구하기 위하여 Markov 과정¹²⁾에 의해 정식화하면

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_1(t) \\ \dot{P}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{初期條件 } \mathbf{P}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

와 같이 되고, 이것을 풀면 다음과 같이 된다.

$$P_1(t) = \frac{\mu + \lambda e^{-(\mu + \lambda)t}}{\mu + \lambda} \quad (4)$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda[1 - e^{-(\mu + \lambda)t}]}{\mu + \lambda} \quad (5)$$

이때 시간 t 에서 UC 대상 發電機중 i 號機가 運轉狀態에 있을 確率과 事故停止狀態에 있을 確率을 각

각 $P_{u_i}^c(t)$ 및 $P_{d_i}^c(t)$ 라 하면

$$P_{u_i}^c(t) = \frac{\mu + \lambda e^{-(\mu + \lambda)t}}{\mu + \lambda} \quad (6)$$

$P_{d_i}^c(t) = \frac{\lambda[1 - e^{-(\mu + \lambda)t}]}{\mu + \lambda}$ 로 된다.

그런데 基底負荷用 發電機는 初期 運轉持續時間이 길기 때문에 식 (6) 및 (7)에서 $t \rightarrow \infty$ 로 하여 적용할 수 있으며, 따라서 이때의 狀態確率을 $P_{u_i}^b$ 및 $P_{d_i}^b$ 라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{u_i}^b = P_{u_i}^c(t) |_{t \rightarrow \infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (8)$$

$$P_{d_i}^b = P_{d_i}^c(t) |_{t \rightarrow \infty} = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \quad (9)$$

2.2 3-狀態모델

고찰기간중에 起動을 수반하는 UC 대상 發電機에서는 起動失敗가 발생할 수 있으므로 앞에서 記述한 2-狀態모델을 그대로 적용하는 것은 불합리하다. 따라서 起動失敗를 확률적으로 고려할 수 있는 狀態모델이 필요하다.

본 研究에서는, 日間과 같은 短期 運用計劃時 發電機의 起動失敗는 事故停止로 취급할 수 있음에 착안하여 그림 2와 같은 3-狀態모델을 提案하고, 이로부터 각각의 狀態確率 $P_1(t)$, $P_2(t)$ 및 $P_3(t)$ 를 계산하여 sf의 算定에 적용함으로써 算法의 實用性을 提高하였다.

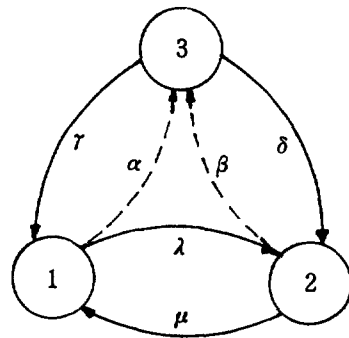


그림 2. 3-狀態모델의 狀態공간도

Fig. 2. The state space diagram of 3-state model

그림 2에서

1: 運轉狀態

2: 事故停止狀態

3: 待機狀態

λ : 事故發生率 (1 / 平均 運轉持續時間)

μ : 復舊率 (1 / 平均 事故持續時間)

γ : 起動成功率 ($1 - P_s / T$)

δ : 起動失敗率 (P_3 / T)

$\alpha = \beta = 0$

단, P_3 : 起動失敗確率

T : 平均 待機持續時間

이로부터 시각 t 에서의 狀態確率 $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ 를 계산하기 위하여 Markov 과정에 의해 정식화하면

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_1(t) \\ \dot{P}_2(t) \\ \dot{P}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & u & \gamma \\ \lambda & -u & \delta \\ 0 & 0 & -(\gamma+\delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

初期條件 $\mathbf{P}(0) = [0 \ 0 \ 1]$ (11)

로 되며, 이것을 풀면 다음과 같이 된다.

$$P_1(t) = \frac{u(\gamma+\delta)}{ab} + \frac{u(\gamma+\delta)-a\gamma}{a(a-b)} e^{-at} - \frac{u(\gamma+\delta)-b\gamma}{b(a-b)} e^{-bt} \quad (12)$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda(\gamma+\delta)}{ab} + \frac{\lambda(\gamma+\delta)-a\gamma}{a(a-b)} e^{-at} - \frac{\lambda(\gamma+\delta)-b\gamma}{b(a-b)} e^{-bt} \quad (13)$$

$$P_3(t) = e^{-(\gamma+\delta)t} \quad (14)$$

여기서

$$a = \frac{1}{2} \{ (\lambda + u + \gamma + \delta) + [(\lambda + u + \gamma + \delta)^2 - 4(\lambda\gamma + \lambda\delta + u\gamma + u\delta)]^{\frac{1}{2}} \} \quad (15)$$

$$b = \frac{1}{2} \{ (\lambda + u + \gamma + \delta) - [(\lambda + u + \gamma + \delta)^2 - 4(\lambda\gamma + \lambda\delta + u\gamma + u\delta)]^{\frac{1}{2}} \} \quad (16)$$

따라서, 시각 t 에서 起動되는 UC대상 發電機 (i 號機)가 運轉狀態에 있을 확률 $P_{up_i}^u(t)$ 와 事故停止狀態에 있을 확률 $P_{dn_i}^d(t)$ 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$P_{up_i}^u(t) = \frac{u_i(\gamma_i + \delta_i)}{a_i b_i} + \frac{u_i(\gamma_i + \delta_i) - a_i \gamma_i}{a_i(a_i - b_i)} e^{-a_i t} - \frac{u_i(\gamma_i + \delta_i) - b_i \gamma_i}{b_i(a_i - b_i)} e^{-b_i t} + e^{-(\gamma_i + \delta_i)t} \quad (17)$$

$$P_{dn_i}^d(t) = \frac{\lambda_i(\gamma_i + \delta_i)}{a_i b_i} + \frac{\lambda_i(\gamma_i + \delta_i) - a_i \gamma_i}{a_i(a_i - b_i)} e^{-a_i t} - \frac{u_i(\gamma_i + \delta_i) - b_i \gamma_i}{b_i(a_i - b_i)} e^{-b_i t} \quad (18)$$

식 (6) ~ (9) 및 식 (17), (18)로부터 해당 發電機의 狀態確率을 계산하여 $S(t)$ 를 算定하게 된다.

3. Security function의 算定

본 研究에서는 短期間 系統 信賴度의 評價基準으로 Patton이 제안한 信賴度函數 $S(t)$ 를 도입하였다.

$$S(t) = \sum_i P_i(t) Q_i(t) \quad (19)$$

단, $P_i(t)$: 시각 t 에서 系統이 狀態 i 에 있을 확률

$Q_i(t)$: 시각 t 에서 狀態 i 가 系統 信賴度를 침해할 확률

系統의 信賴度 침해는 구체적으로 供給力 부족, 電壓 이상, 機器 및 線路의 과부하등을 들 수 있지만, 본 研究에서는 $S(t)$ 를 UC문제에 적용하기 위하여 도입하였으므로, 信賴度의 침해요인으로 發電機의 事故停止로 인한 供給力 부족만을 고려하였다.

따라서 $S(t)$ 는 시각 t 에서 系統에 供給力 부족이 발생할 확률이며, 負荷를 일정한 것으로 가정할 경우 $Q_i(t)$ 는 다음 값을 갖는다.

$$Q_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{狀態 } i \text{에서 供給力 부족이 생길 경우} \\ 0, & \text{狀態 } i \text{에서 供給 가능할 경우} \end{cases} \quad (20)$$

이제 $S(t)$ 를 算定하기 위하여 각각의 발생가능 狀態에 대한 狀態確率을 구해야 한다.

먼저 시각 t 에서 運轉중인 發電機에 대하여,

1) 1臺에 事故가 발생할 경우

$$P_i(t) = P_{dn_i}^d(t) \prod_{j \in R_i} P_{up_j}^u(t) \quad (21)$$

단, $P_{dn_i}^d(t) \in \{P_{dn_i}^d, P_{dn_i}^c(t)\}$

$$P_{up_j}^u(t) = \{P_{up_j}^b, P_{up_j}^c(t)\}$$

2) 2臺에 事故가 발생할 경우

$$P_j(t) = P_{dn_i}^d(t) P_{dn_j}^d(t) \prod_{k \in R_{i,j}} P_{up_k}^u(t) \quad (22)$$

단, $P_{dn_j}^d(t) \in \{P_{dn_j}^d, P_{dn_j}^c(t)\}$

$$P_{up_k}^u(t) = \{P_{up_k}^b, P_{up_k}^c(t)\}$$

3) m臺에 事故가 발생할 경우

$$P_j \cdots m(t) = P_{dn_i}^d(t) P_{dn_j}^d(t) \cdots P_{dn_m}^d(t) \prod_{n \in R_{i,j,\dots,m}} P_{up_n}^u(t) \quad (23)$$

단, $P_{dn_n}^d(t) \in \{P_{dn_n}^d, P_{dn_n}^c(t)\}$

$$P_{up_n}^u(t) = \{P_{up_n}^b, P_{up_n}^c(t)\}$$

와 같이 되며, 시각 t 에서 起動하는 發電機에 대해서는 다음과 같이 된다.

1) 1臺에 起動失敗가 발생할 경우

$$P_i^u(t) = P_{d_{n_i}}^u(t) \prod_{\substack{j \in R \\ j \neq i}} P_{u_{p_j}}^u(t) \quad (24)$$

단, $P_{u_{p_j}}^u(t) = \{ P_{u_{p_j}}^b, P_{u_{p_j}}^c, P_{u_{p_j}}^u(t) \}$

2) 2臺에 起動失敗가 발생할 경우

$$P_{ij}^u(t) = P_{d_{n_i}}^u(t) P_{d_{n_j}}^u(t) \prod_{\substack{k \in R \\ k \neq i, j}} P_{u_{p_k}}^u(t)$$

단, $P_{u_{p_k}}^u(t) = \{ P_{u_{p_k}}^b, P_{u_{p_k}}^c, P_{u_{p_k}}^u(t) \}$

3) m臺에 起動失敗가 발생할 경우

$$P_{i_1 \dots i_m}^u(t) = P_{d_{n_{i_1}}}^u(t) P_{d_{n_{i_2}}}^u(t) \dots P_{d_{n_{i_m}}}^u(t) \prod_{\substack{n \in R \\ n \neq i_1, \dots, i_m}} P_{u_{p_n}}^u(t) \quad (26)$$

단, $P_{u_{p_n}}^u(t) = \{ P_{u_{p_n}}^b, P_{u_{p_n}}^c, P_{u_{p_n}}^u(t) \}$

그런데 시각 t , 상태 k 에서 동시에 2臺 이상의 發電機가 事故停止되거나 起動을 失敗할 확률은 매우 낮아서 무시할 수 있는 것으로 가정하고, 단지 1臺의 事故停止와 起動失敗만을 고려하면, 그때의 狀態確率은 식 (21) 및 (24)와 같이 된다.

따라서 구하고자 하는 sf 값 $S_1(t)$ (運轉중인 發電機에 대한 sf 값) 및 $S_2(t)$ (起動하는 發電機에 대한 sf 값)는 각각

$$S_1(t) = \sum_{i \in R} [P_{d_{n_i}}(t) \prod_{\substack{j \in R \\ j \neq i}} P_{u_{p_j}}^u(t) Q_i(t)] \quad (27)$$

$$S_2(t) = \sum_{i \in R} [P_{d_{n_i}}^u(t) \prod_{\substack{j \in R \\ j \neq i}} P_{u_{p_j}}^u(t) Q_i(t)] \quad (28)$$

로 되고, 최종적인 $S(t)$ 는 다음 식으로부터 算定된다.

$$S(t) = \begin{cases} S_1(t), & \text{狀態遷移가 發電機의 起動을 수반하} \\ & \text{지 않을 때} \\ S_1(t) + S_2(t), & \text{狀態遷移가 發電機이 起動을} \\ & \text{수반할 때} \end{cases} \quad (29)$$

4. 決定除去技法

最適한 計劃을 구하기 위해서는 각 段階에서 UC 대상 發電機로 구성가능한 모든 狀態 및 決定을 고찰해야 하지만, 이렇게 할 경우 計算上의 문제점이 야기되므로, 소형 計算機로 大電力系統의 문제를 다루기 위해서는 精度가 떨어지지 않는 범위내에서 가능한 한 이용가능 狀態 및 決定數를 줄이는 것이 요구된다.

본 研究에서는 문헌 (11)에서 제안한 Search & Selection 技法에 의해 狀態數를 줄이고, 決定數를 줄이기 위해 發電機의 最少運轉 및 停止時間制約을 이용한 決定除去技法을 제안하였으며, 그 주요 절차는 다음과 같다.

1) 負荷증가의 경우

Step 1. 제 1 시간대에서 最適決定을 구하고, 그때의 組合狀態중 運轉해야할 發電機의 最少運轉時間 $\tau_i^{h(new)}$ 를 다음 식으로 결정한다.

$$\tau_i^{h(new)} = j - 1, \quad i \in R \quad (30)$$

단, j : 최초로 $load(j) < load(1)$ 의 狀態로 되는 시각

Step 2. 段階 j 에서 最適決定을 구하고, 그때의 組合狀態중 停止중인 發電機의 最少停止時間 $\tau_i^{l(new)}$ 를 다음 식으로 결정한다.

$$\tau_i^{l(new)} = k - j, \quad i \in R \quad (31)$$

단, k : 段階 j 이후 최초로 $load(k) > load(j)$ 의 狀態로 되는 시각

2) 負荷감소의 경우

Step 1. 제 1 시간대에서 最適決定을 구하고, 그때의 組合狀態중 停止중인 發電機의 最少停止時間 $\tau_i^{l(new)}$ 를 다음 식으로 결정한다.

$$\tau_i^{l(new)} = m - 1, \quad i \in R \quad (32)$$

단, m : 최초로 $load(m) > load(1)$ 의 狀態로 되는 시각

Step 2. 段階 m 에서 最適決定을 구하고 그때의 組合狀態중 運轉중인 發電機의 最少運轉時間 $\tau_i^{h(new)}$ 를 다음 식으로 결정한다.

$$\tau_i^{h(new)} = n - m, \quad i \in R \quad (33)$$

단, n : 段階 m 이후 최초로 $load(n) < load(m)$ 의 狀態로 되는 시각

3) 식 (30) ~ (33)에 의해 구해진 값을 근거로 다음 식에 의해 해당 시간대에서의 時間制約값을 결정한다.

$$\tau_i^h = \begin{cases} \tau_i^{h(old)}, & \tau_i^{h(old)} \geq \tau_i^{h(new)} \\ \tau_i^{h(new)}, & \tau_i^{h(new)} > \tau_i^{h(old)} \end{cases} \quad (34)$$

$$\tau_i^l = \begin{cases} \tau_i^{l(old)}, & \tau_i^{l(old)} \geq \tau_i^{l(new)} \\ \tau_i^{l(new)}, & \tau_i^{l(new)} > \tau_i^{l(old)} \end{cases} \quad (35)$$

단, $\tau_i^{h(old)}$: i 號機의 초기 最少運轉時間

$\tau_i^{l(old)}$: i 號機의 초기 最少停止時間

이상의 절차를 解過程중에서 반복함으로써 고찰대상 決定數를 대폭 줄일 수 있으며, 문헌 (11)에서와 같이 ϵ 값에 의해 bounding 할 경우에 생기는 문제점이 보완되었다.

5. Unit Commitment

$F_i^*(k)$ 를 시각 t , 상태 k 에서 이루어질 수 있는 最少火力燃料費라 하면, DP의 汎函數式은 다음과 같이

된다.

$$F_t^*(t) = \min \{ F_{t-1}^*(j) + C(j, k) \} \quad (36)$$

단, $t = 1, 2, \dots, T$

$j =$ 決定變數 (시각 $t-1$ 에서 最適決定)

$k =$ 시각 t 에서 狀態集合 ($k \in 2^R$)

$$C(j, k) = \{ C_\alpha(j, k), C_\beta(j, k), C_\gamma(j, k), C_\delta(j, k) \} :$$

遷移費用

시각 t , 狀態 k 에서의 並列發電機 組合을 ${}^tU^k$ 라 하고 시각 $t-1$, 狀態 j 에서의 組合을 ${}^{t-1}U^j$ 라 하면 시각 t , 狀態 k 까지의 總 發電費用은 다음과 식으로 표현된다.

$$f_t({}^{t-1}U^j, {}^tU^k) = \sum_{i \in R} f_i^t(P_i^t) + \sum_{i \in R} SC_i^t(d) + \sum_{i \in R} DC_i^t + PC_i^t + F_{t-1}({}^{t-1}U^j) \quad (37)$$

단, $t = 1, 2, \dots, T$

$j \in 2^R, k \in 2^R$

여기서

$$\sum_{i \in R} f_i^t(P_i^t) = C_\alpha(j, k) : \text{發電費用} \quad (38)$$

$$\sum_{i \in R} SC_i^t(d) = \begin{cases} C_\beta(j, k) : \text{起動費用} \\ 0, j = k \end{cases} \quad (39)$$

$$\sum_{i \in R} DC_i^t = \begin{cases} C_\gamma(j, k) : \text{停止費用} \\ 0, j = k \end{cases} \quad (40)$$

$$PC_i^t = \begin{cases} C_\delta(j, k) = f_i^t(P_i^t) \times \varphi : \\ \text{penalty cost} \\ 0, S_i^t \leq SU \end{cases} \quad (41)$$

$$F_{t-1}({}^{t-1}U^j) = F_{t-1}^*(j) \quad (42)$$

단, d : 停止持續時間

φ : Penalty cost 증가율

S_i^t : 시각 t , 狀態 i 의 security function 값

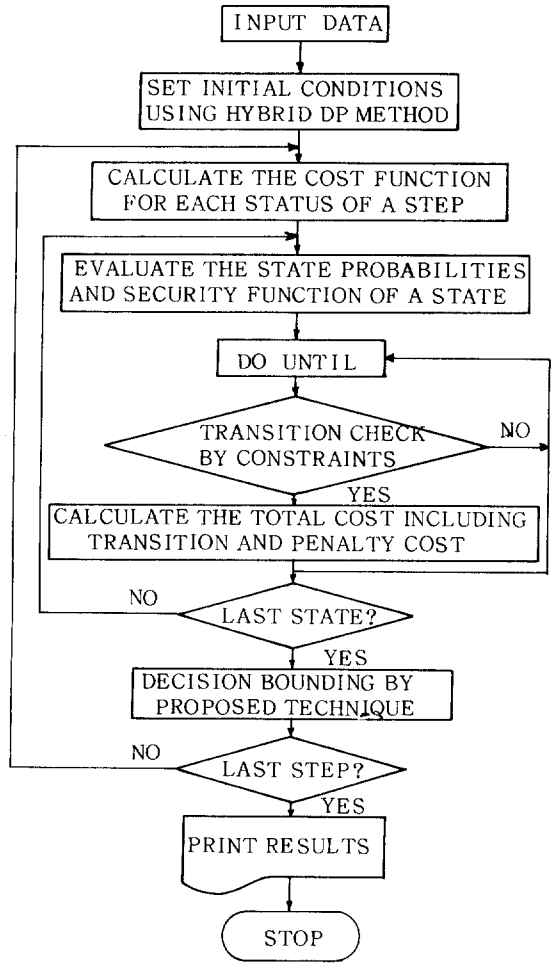


그림 3. Unit commitment 算法의 흐름도

Fig. 3. flow of unit commitment algorithm

표 1. 모델系統의 發展機 定數

Table 1. Generating unit parameters of model system

INPUT DATA FOR IEEE MODEL SYSTEM

NO	ID NAME	P _{MIN} MW	P _{MAX} MW	F(P) = AP**2 + BP + C			COST	FAILURE RATE	REPAIR RATE	PROB. OF STARTING FAILURE
				A	B	C				
1	T/P UNT1	15.0	60.0	0.00510	2.20340	15.00000	1.000	0.00013	0.0172	0.01
2	T/P UNT3	30.0	100.0	0.00393	1.85180	40.00000	1.000	0.00013	0.0172	0.01
3	T/P UNT2	20.0	80.0	0.00396	1.91610	25.00000	1.000	0.00013	0.0172	0.01
4	T/P UNT5	50.0	150.0	0.00212	1.80150	29.00000	1.000	0.00028	0.0667	0.01
5	T/P UNT4	25.0	120.0	0.00382	1.69660	32.00000	1.000	0.00028	0.0667	0.01
6	T/F UNT6	75.0	280.0	0.00261	1.53540	72.00000	1.000	0.00029	0.0728	0.01
7	T/F UNT7	120.0	320.0	0.00289	1.26430	49.00000	1.000	0.00029	0.0728	0.00
8	T/P UNT8	125.0	445.0	0.00148	1.21360	82.00000	1.000	0.00029	0.0728	0.00
9	T/P UNT9	250.0	520.0	0.00127	1.19540	105.00000	1.000	0.00045	0.0728	0.00
10	T/F UNTA	250.0	550.0	0.00135	1.12850	100.00000	1.000	0.00045	0.0249	0.00

표 2. 實系統의 發展機 定數
Table 2. Generating unit parameters of KEPCO system

INPUT DATA FOR KEPCO SYTEM

NO	ID NAME	P _{MIN} MW	P _{MAX} MW	F(P) = AP**2 + BP + C			COST	FAILURE RATE	REPAIR RATE	PROB. OF STARTING FAILURE
				A	B	C				
1	T/P YNM2	90.0	175.0	0.00107	2.07315	57.57339	16.539	0.02654	0.5128	0.01
2	T/P SHE2	70.0	100.0	0.00441	1.76033	126.10672	16.539	0.01471	0.5000	0.01
3	T/P USN2	90.0	180.0	0.00107	1.94354	52.78449	16.539	0.01869	0.6703	0.01
4	T/P USN1	90.0	185.0	0.00107	1.94354	52.78449	16.539	0.01509	0.9025	0.01
5	T/P SHE1	70.0	200.0	0.00411	1.76033	126.10697	16.539	0.01471	0.5000	0.01
6	T/P USN3	90.0	175.0	0.00107	1.94354	52.78449	16.539	0.01811	0.1960	0.01
7	T/P UNM1	90.0	185.0	0.00152	1.85155	62.52749	16.539	0.01380	0.8142	0.01
8	T/P YSU2	180.0	285.0	0.00075	2.02532	78.85339	16.539	0.02477	0.7669	0.00
9	T/P ICN3	180.0	285.0	0.00087	1.74287	105.74299	16.539	0.03063	0.5051	0.00
10	T/P ICN4	180.0	309.0	0.00087	1.74287	105.74299	16.539	0.03475	0.4166	0.00
11	T/P YSU1	120.0	190.0	0.00098	1.89809	57.33759	16.539	0.02720	3.5399	0.00
12	T/P USN4	200.0	380.0	0.00066	1.69351	125.02899	16.539	0.03000	0.5000	0.00
13	T/P USN5	200.0	380.0	0.00066	1.69351	125.02899	16.539	0.03000	0.5000	0.00
14	T/P USN6	200.0	380.0	0.00066	1.69351	125.02899	16.539	0.03000	0.5000	0.00
15	T/P SCK1	15.0	30.0	0.00801	2.68940	8.91453	11.045	0.01453	0.9315	0.00
16	T/P SCK2	15.0	30.0	0.00801	2.68940	8.91453	11.045	0.01453	0.8315	0.00
17	T/P BSN1	30.0	57.0	0.00457	2.46592	25.36678	11.045	0.01138	0.9846	0.00
18	T/P BSN2	30.0	57.0	0.00457	2.46592	25.36678	11.045	0.01138	0.9846	0.00
19	T/P ICN1	180.0	240.0	0.00137	1.50509	116.51599	16.569	0.00449	2.1998	0.00
20	T/P ICN2	180.0	240.0	0.00137	1.50509	116.51599	16.569	0.00449	2.1998	0.00
21	T/P PTG1	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.569	0.01259	2.4651	0.00
22	T/P PTG2	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.569	0.01205	5.5891	0.00
23	T/P PTG3	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.569	0.01000	1.0000	0.00
24	T/P PTG4	175.0	333.0	0.00073	1.67791	114.61200	16.569	0.01000	1.0000	0.00
25	T/P YDG1	70.0	120.0	0.00175	2.16083	44.25639	12.141	0.01427	0.7140	0.00
26	T/P SUL4	70.0	120.0	0.00158	1.99502	41.96699	14.060	0.01489	1.0623	0.00
27	T/P GSN	40.0	63.0	0.00859	1.99130	30.92865	10.125	0.01266	0.8787	0.00
28	T/P YDG2	100.0	190.0	0.00468	0.33117	244.91687	10.369	0.01794	0.5421	0.00
29	T/P YWL2	25.0	48.0	0.00485	2.73527	17.86629	9.339	0.01441	0.3698	0.00
30	T/P GIN1	70.0	154.0	0.00364	1.37487	76.97529	16.272	0.01509	0.9024	0.00
31	T/P GIN2	70.0	154.0	0.00364	1.37487	76.97529	16.272	0.00865	0.7297	0.00
32	T/P YWL1	25.0	48.0	0.00485	2.73527	17.86629	9.000	0.03335	1.0494	0.00
33	T/P SUL5	100.0	238.0	0.00194	1.34467	127.01199	14.060	0.01441	0.3699	0.00
34	T/P SDF1	280.0	504.0	0.00059	1.58200	183.43297	6.826	0.01000	1.0000	0.00
35	N/P GRI1	650.0	650.0	0.00005	1.00000	15.23300	3.243	0.37840	0.8613	0.00
36	H/P HCN	10.0	27.0	0.01777	1.16973	11.76397	1.000	0.00100	0.4000	0.00
37	H/P CCN	11.0	29.0	0.01866	3.18551	8.90187	1.000	0.00100	0.4000	0.00
38	H/P EAM	10.0	20.0	0.02847	6.02883	5.35891	1.000	0.00100	0.4000	0.00
39	H/P CPG	8.0	22.0	0.00609	4.29077	1.37937	1.000	0.00100	0.4000	0.00
40	H/P SYG	45.0	90.0	0.00219	0.78600	20.71489	1.000	0.00100	0.4000	0.00

SU = security level

따라서 식 (37)을 $t^{-1}U^j$ 에 대해 最少化하면

$$F_i(t^{-1}U^j) = \min_{(t^{-1}j)} \{ f(t^{-1}U^j, t^{-1}U^j) \} \quad (43)$$

로 되며, 이렇게 하여 최종시각까지의 費用을 구하고, 全段階에 걸쳐 費用最少인 計劃을 구한다.

提案한 UC算法의 개략적인 흐름은 그림 3과 같다.

6. 事例研究

提案한 算法의 効用성을 立證하기 위하여 모델系統과 實系統의 日間發電計劃에 각각 적용한 結果를

검토, 제시하였다.

표 1과 2는 모델系統과 實系統의 發電機 特性 定數를 나타낸 것이며, 그림 4는 모델系統의 UC 結果를 나타낸 것이다.

그림 4에서 CASE 1은 經濟性만을 고려했을 경우에 얻어지는 計劃容量을, 가는 실선으로 표시된 sf는 그때의 信賴度函數값을 나타낸 것이다. 이때 狀態遷移가 起動을 수반하는 경우의 sf 값이 다른 경우에 비해 큰것으로 나타나고 있는데, 이것은 發電機의 起動失敗의 위험을 의미하는 것이다.

CASE 2의 경우는 $SU = 0.03$, $\varphi = 2 \times 10^{-3}$ 으로 하여 구한 計劃容量이며, CASE 3은 $\varphi = 3 \times 10^{-3}$ 으로

FINAL REPORT OF UNIT COMMITMENT

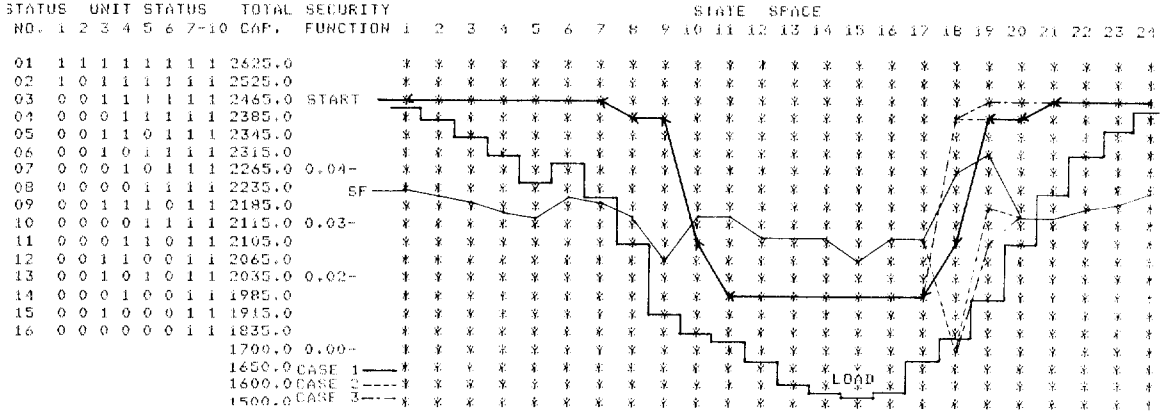


그림 4. 모델 系統의 unit commitment 結果
 Fig. 4. Unit commitment results of model system

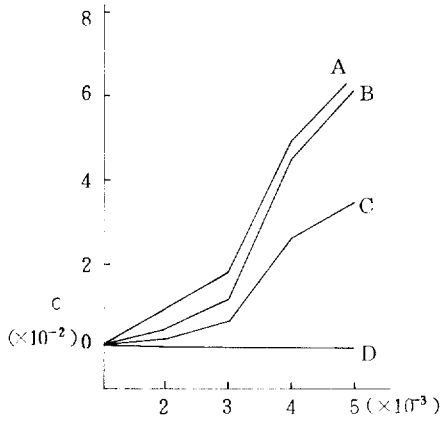


그림 5. 費用증가율과 penalty cost 증가율의 관계
 Fig. 5. Relationship of cost increasing rate to penalty cost rate

로 구한 값을 나타낸 것이다. 이때 달라지는 sf 값은 곡선상에 점선으로 나타내었다.

그림 5는 모델系統에서 penalty cost 증가율 φ와 費用증가율 c의 관계를 몇가지 SU값에 대해 나타낸 것이다.

그림 5에서 A는 SU = 0.02로 했을 경우에 대한 φ와 c의 관계이며, B는 SU = 0.03, C는 SU = 0.04일 때의 관계를 나타낸 것이고, D는 SU를 충분히 크게했을 경우, 즉 경제성만을 고려한 경우의 관계를 나타낸 것이다.

여기서 알 수 있는 것은 비용증가율 c가 SU값보다는 φ의 영향을 많이 받고, φ = 3×10⁻³ 이내에서는 비용증가율이 비교적 완만하다는 것이다.

따라서 運計劃時 信頼性を 고려하고자 할 때에는 먼저 系統의 特性을 감안하여 적절한 SU를 設

FINAL REPORT OF UNIT COMMITMENT

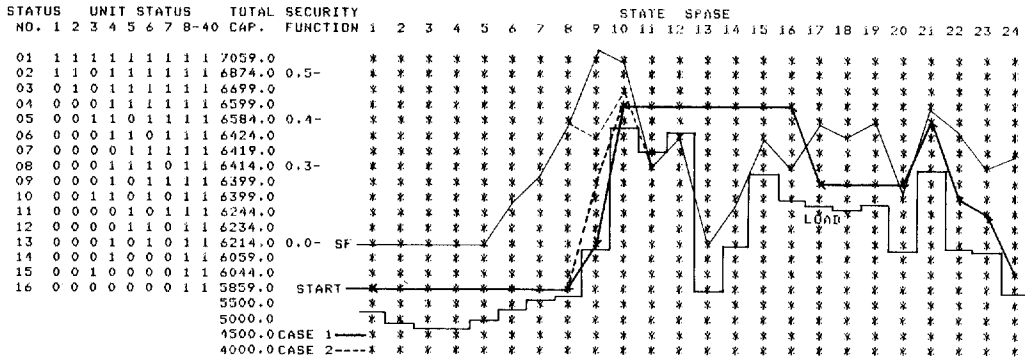


그림 6. 實系統의 Unit commitment 結果
 Fig. 6. Unit commitment results of KEPCO system

표 3. 事例研究 結果 要約

Table 3. Summary of case study results

項目 系統	Security Level	Penalty cost rate	發電費用(천원)	$\frac{F_T^* - F_T}{F_T} \times 100$	決定數(개)		$\frac{D_T - D_T^*}{D_T} \times 100$
					Hybrid DP (D_T)	Proposed Method (D_T^*)	
모델 系統	0.05	0	101,908 (F_T)	8.8×10^{-3}	260	219	15.7
	0.03	2×10^{-3}	101,917				
		3×10^{-3}	101,925 (F_T^*)				
		4×10^{-3}	101,958	4.91×10^{-2}			
實 系統	0.7	0	4,474,467 (F_T)	1.18×10^{-2}	190	160	15.7
	0.4	3×10^{-3}	4,474,999 (F_T^*)				

定하고, 비교적 c 가 완만한 $\varphi = 3 \times 10^{-3}$ 이내의 값을 적용하여 計劃을 구하는 것이 바람직하다.

그림 6 은 $SU = 0.4$, $\varphi = 3 \times 10^{-3}$ 으로 하여 구한 實系統의 UC 結果를 나타내 것이다.

이상의 事例研究에서 얻어진 중요한 結果를 요약하면 표 3 과 같다.

提案한 算法을 모델 系統에 적용한 경우 費用은 약 $8.8 \times 10^{-3} \sim 4.91 \times 10^{-2}$ (%) 증가하고, 實系統에서는 약 1.18×10^{-2} (%) 증가한다.

그러나 經濟性和 信賴性이 상호 排他的인 관계를 감안한다면, 系統의 安全運用을 위해서는 약간의 비용증가를 감수해야 할 것이다.

또한 決定數는 Hybrid DP에서 $\epsilon = 3 \times 10^{-4}$ 으로 했을 경우에 비해 약 15.7 (%)를 감소시킬 수 있으며, ϵ 값의 선정에 따른 문제점이 없이 모든 系統에 一律적으로 적용할 수 있음이 立證되었다.

7. 結 論

電力系統 운용합리화 方案의 일환으로 經濟性은 물론 發電系統의 信賴性까지도 고려할 수 있는 發電機 並列臺數 決定算法을 제안하였으며, 研究結果를 요약하면 다음과 같다.

1) 信賴性의 判定기준으로 security function을 도입하고, 發電機의 起動失敗를 確率의으로 고려할 수 있는 3-狀態모델을 제안, 적용함으로써 보다 합리적인 算法이 되게하였다.

2) Hybrid DP 算法에서 제안한 Search & Selection 技法과 더불어, 어느 系統에나 一律적으로 적용가능한 決定除去技法을 제안하여 算法의 柔軟性을 높였다.

3) 經濟性만을 고려한 경우에 비해 費用은 약간 증가한 것으로 나타났다.

4) 본 研究에서 제안한 狀態모델은 目間 發電計劃을 전제로 한 것이므로, 週間이나 그 이상의 計劃時에 적용하는 것은 불합리하다. 따라서 이를위한 합리적인 狀態모델의 개발이 요망된다.

參 考 文 獻

- 1) IEEE Working Group Report ; "Description and bibliography of major economy-security functions", IEEE Trans , Vol . PAS - 100, No. 1, pp. 211 - 35, Jan. 1981
- 2) A. J. Wood, B. F. Wollenberg ; "Power generation, operation and control", John Wiley & Sons, New York, 1984
- 3) J. D. Guy ; "Security constrained unit commitment", IEEE Trans , Vol . PAS - 90, No. 3, pp. 1385 - 90, 1971
- 4) A. K. Ayoub, A. D. Patton ; "Optimal thermal unit commitment", IEEE Trans, Vol. PAS - 90, pp. 1752 - 56, 1971
- 5) S. Yamashiro ; "The schedule for startup and shutdown of thermal generating units considering reliability", Elec. Eng. in Japan, 94 - B, No. 6, pp. 297 - 86, Jun. 1974
- 6) A. D. Patton ; "Short - term reliability calculation", IEEE Trans. Vol. PAS - 89, No. 4, pp. 509 - 13, Apr. 1970
- 7) IEEE Task Group ; "A four - state model for estimation of outage risk for units in peaking service", IEEE Trans. Vol. PAS - 91, No. 2, pp. 618 - 27, 1972
- 8) R. Billinton, A. V. Jain ; "The effect of rapid start and hot reserve units in spinning reserve studies", IEEE Trans. Vol. PAS - 91, No. 2,

- pp. 511 - 16, 1972
- 9) A. D. Patton ; "A probability method for bulk power system security assessment -Ⅲ -models for stand-by generators and field data collection and analysis", IEEE Trans. Vol. PAS - 91, No. 6, pp. 2486 - 93, Nov. / Dec. 1972
- 10) B. E. Biggerstaff , T. M. Jackson; "The Markov process as a means of determining generating unit state probabilities for use in spinning reserve applications", IEEE Trans. Vol. PAS - 88, No. 4, pp. 423 - 30, Apr. 1969
- 11) 金俊鉉, 黃甲珠, 劉仁根; "Hybrid DP 에 의한 電力系統의 發電機並列台數 決定에 관한 研究", 大韓電氣學會論文誌, Vol. 33, No. 4, 1984
- 12) R. Billinton; "Power system reliability evaluation", Gordon & Breach, New York, 1970