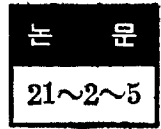


# DP法에 의한 火力系統의 最適並列台數 決定 및 負荷配分

## Determination of Optimal Unit Commitment and Load Dispatch for Thermal Power System by DP Method



양 흥 석\* 이 문 호\*\*  
(Heung Suk Yang, Moon Ho Lee)

### Abstract

This paper describes the problem of the short-range-economic-scheduling for unit commitment and load dispatching in thermal power system.

For economic operation of thermal system, the optimum time of startup and shutdown of the generating unit must be determined so as to minimize the sum of generating and starting fuel cost over a given period.

The above problems are analyzed for the purpose of the application of Dynamic Programming Method. Also the technique of Dynamic Programming is applied to the problems. For the illustrative purpose, a case study was made on a model system composed of eight units and the computing time was about 190 seconds by IBM 360-40 system. Therefore, one can utilize this suggested method on any of the practical power systems.

### 1. 서론(Introduction)

電力系統의 발전설비와 송전설비가 電力需要에 대하여 어느 정도의 여유와 융통성을 지니고 있는 경우, 電力需用을 각 발전소에 가장 경제적인 방법으로 배분하는 것이 전력계통의 經濟運用이다.

본 논문에서는 短期經濟 運用方案으로서 全水力系統의 運用이 확정되었을 경우 火力系統의 전연료비 즉 起動費와 運轉時 燃料費의 합계가 최소가 되도록 各時間帶의 火力運轉台數 및 出力配分問題를 검토하고자 한다. 火力發電權의 並列運轉台數 決定方法에는 組合을 고려하는 방법, 優先順位方法(入-μ法), 最大停止利益法 등을 들 수 있으나 組合을 考慮한 方法은 入-μ法에 비하여 全發電機에 대한 最適並列台數의 組合을 各各 比較 검토할 수 있는 반면 계산과정이 복잡하고 발전기의 起動停止 問題를 고려하면 入-μ 방법이 실용적인 것으로 본 연구에서는 상기 두 방법의 단점을 보완하여 入-μ 방법으로 並入優先順位를 정하고 動的計劃法(Dynamic Programming法: DP法)을 적용하여 問題解法을 얻고자 한다. 본연구 범위는 상기와 같이 DP법을 經濟運用計劃에 적용하기 위하여 DP法の 특징에 따라 問題를 분석 定式化하고 Digital Computer에 의한 計算技法을 개발

하고 이에 대한 事例研究를 다루어 연구제시된 計算技法의 실용성을 검토하고자 한다.

### 2. 問題分析(Analysis of Problems)

문제 的 數值解析을 위하여 考察期間을 等分하고, 各時間帶中 모든 變數는 일정하다고 본다.

#### (1) 電力需給 平衡式

i時間帶에 있어서 全系統負荷가  $iP_R$ 인 경우, 水力系統과 火力系統의 出力配分이 각각  $iP_H$ 와  $iP_T$ 로 확정되고 系統損失을  $iP_L$ 라하면 電力需給 平衡式은

$$iP_H + iP_T = iP_R + iP_L \quad (1)$$

로 표시된다.

#### (2) 運轉時 燃料費

각 火力 Unit의 運轉順位가 指定되었을 경우 效率이 좋은 發電機부터 番號를 부여하고 i時間帶의 運轉台數를 n 발전기 出力을 각각  $iP_1, iP_2, \dots, iP_n$ , 연료비를  $if_1, if_2, \dots, if_n$ 라하면,  $if_n$ 는 出力  $iP_n$ 의 함수로 나타낼 수 있으며 i時間帶의 연료비 합계  $iF_n$ 는

$$iF_n = \sum_{n=1}^{in} if_n(iP_n) \quad (2)$$

로 되고 (1)식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$iP_T = \sum_{n=1}^{in} iP_n = iP_R - iP_H + iP_L \quad (3)$$

#### (3) 起動費

\* 정회원 : 서울대학교 공과대학 전기공학과 교수(공학박사)  
\*\* 정회원 : 한국전력주식회사 사원 연수원 교수(공학석사)

起動費는 火力 Unit 의 總停止時間에 따라 변동되고 Boiler 의 停止상태에 의하여 起動費特性이 달라진다. 自然冷却인 경우 起動費  $f_s$ 는

$$f_s = B_c \{1 - \varepsilon^{-\frac{1}{T_0}(t-t_s)}\} + k \quad (4)$$

과 같고 여기에서  $B_c$ 는 外溫까지 냉각된 Boiler 를 起動하는데 필요한 비용,  $T_0$ 는 Boiler 의 냉각시 定數,  $t$ 는 總停止期間,  $t_s$ 는 起動時間,  $K$ 는 Turbine 起動에 요하는 운전비를 각각 나타낸다. 埋火된 경우는 停止期間中 일정한 연료비가 사용되므로 停止期間  $t$ 의 一次函數로 표시되고, 이때 起動費  $f_s$ 는 (5)식이 된다.

$$f_s = B_H(t-t_s) + K \quad (5)$$

단,  $B_H$ 는 埋火에 필요한 비용을 나타낸다. 이상과 같이  $i$ 時間帶의 起動費 합계  $iF_{sn}$ 은

$$iF_{sn} = \sum_{n=1}^m i f_{sn}(it_n) \quad (6)$$

이 되며 상식에서  $it_n$ 는  $n$  unit 에 대한  $i$ 時間帶 직전까지의 停止期間  $t-t_s$ 를 나타낸다.

(4) 全燃料費

$i$ 時間帶에 있어서 起動費를 포함한 전 연료비를  $iF_T$ 라 하면

$$iF_T = iF_n + iF_{sn} = \sum_{n=1}^m \{i f_n(iP_n) + i f_{sn}(it_n)\} \quad (7)$$

로 표시된다. 上式에서 停止期間  $it_n$ 는  $m$  및  $i-1$ 가 주어지면 필연적으로 결정되는 것이다. 그러므로 고찰시간 직전의 火力運轉 台數  $o_n$ 와 停止時間  $it_n$ 가 初期値에서 설정되면  $2t_n, 3t_n, \dots, it_n$ 는 순차적으로 결정되며 (7)식은 다음과 같이 표시된다.

$$iF_T = \sum_{n=1}^m \{iF_n(iP_n) + i f_{sn}(i-1, i, n)\} \quad (8)$$

上式에서  $i f_{sn}$ 의 존재 여부를 고찰하면

(a)  $m > i-1$ 인 경우

No. 1~No.  $(i-1)$  火力 unit 는 繼續運轉

$$\therefore i+1t_n=0, \quad i f_{sn}=0$$

No.  $(i-1+1)$ ~No.  $(i)$  火力 unit 는 起動

$$\therefore i+1t_n=0, \quad i f_{sn} \text{ 존재}$$

No.  $(i+1)$ ~No.  $(n_s)$  火力 unit 는 繼續停止

$$\therefore i+1t_n=i t_n+1, \quad i f_{sn}=0$$

단  $n_s$ 는 最大 可能運轉台數

(b)  $m = i-1$ 인 경우

No. 1~No.  $(i)$  火力 unit 는 繼續運轉

$$\therefore i+1t_n=0, \quad i f_{sn}=0$$

No.  $(i+1)$ ~No.  $(n_s)$  火力 unit 는 繼續停止

$$\therefore i+1t_n=i t_n+1, \quad i f_{sn}=0$$

(c)  $m < i-1$ 인 경우

No. 1~No.  $(i)$  火力 unit 는 繼續運轉

$$\therefore i+1t_n=0, \quad i f_{sn}=0$$

No.  $(i+1)$ ~No.  $(i-1)$  火力 unit 는 繼續停止

$$\therefore i+1t_n=1, \quad i f_{sn}=0$$

No.  $(i-1+1)$ ~No.  $(n_s)$  火力 unit 는 繼續停止

$$\therefore i+1t_n=i t_n+1, \quad i f_{sn}=0$$

상기 검토결과 (8)식의 2항은  $m > i-1$ 인 경우에만 존재하는 것을 알 수 있다.

3. DP 法의 適用(Application of Dynamic Programming Method)

상술한 DP 法의 원리와 특징에 따라 2.의 문제분석 결과를 DP 法에 적용하면 다음과 같다.

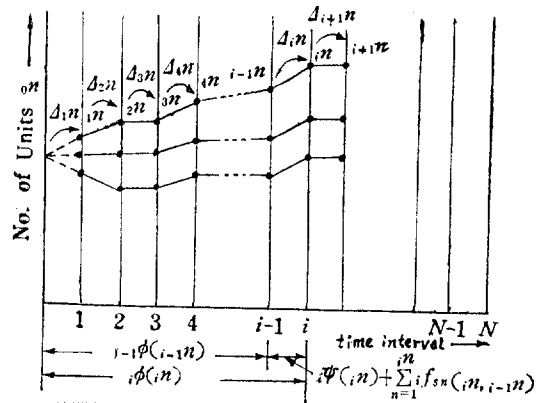


그림 1. DP 法의 多段決定過程

Fig 1. Multi-stage decision process by DP method

그림 1.에서 全考察期間中 전 연료비 합계를  $F_T$ 라하면

$$F_T = \sum_{i=1}^N iF_T = \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^m \{i f_n(iP_n) + i f_{sn}(i-1, i, n)\} \quad (9)$$

가 되고  $i-1$ 時間帶와  $i$ 時間帶의 運轉台數差를  $\Delta n$ 라 하면

$$i-1n = i n + \Delta n \quad (10)$$

가 되므로 9식은 다음과 같이 표시된다.

$$F_T = \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^m \{i f_n(iP_n) + i f_{sn}(i, \Delta n)\} \quad (11)$$

그러므로 日間經濟運轉計劃에 대한 解法은 (3)식의 제약조건하에서 목적함수인 (11)식의 총 연료비가 최소가 되도록 各時間帶의 火力發電機 運轉台數  $i n$ 와 發電機出力  $i P_n$ 을 결정하면 된다. 즉 연료비  $F_T$ 를 最小로 하기 위하여는 (11)식의  $\Delta n$ 과  $i P_n$ 을 독립변수로 변화시켜 最適政策( $\Delta n_0, \Delta n_1, \dots, \Delta n_{N-1}$ )을 (12)式에서 구할 수 있다.

$$M_{i,n} [F_T] = M_{i,n} \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^m \{M_{i,n}(\sum_{i=1}^m i f_n(iP_n) + \sum_{n=1}^m i f_{sn}(i, \Delta n))\} \right] \quad (12)$$

上式에서 괄호내의 1항은 運轉台數  $i, n$ 가 주어진 경우 화력계통의 全負荷  $iP_T$ 를 각 火力 unit에 最適으로 배분한 결과를 나타낸다. 等增分費理論에 따라 最適으로 배분된 운전시연료비를  $\psi(i, n)$ 라 하고  $\Delta i, n$ 을  $i-1, n$ 으로 표시하면

$$\text{Min}\{F_T\} = \text{Min}_{\substack{i-1, n \\ i, P_n}} \left\{ \sum_{i=1}^N \psi(i, n) + \sum_{n=1}^{i, n} f_{sn}(i, n, i-1, n) \right\} \quad (13)$$

로 되고 이를 DP法에 적용하면 다음과 같은 漸次式을 유도할 수 있다.  $i$ 時間帶에서  $i, n$ 台,  $i-1$ 時間帶에서  $i-1, n$ 台가 운전하고 있는 경우 考察期間初부터  $i$ 時間帶末까지의 累加費用을  $i\phi(i, n, i-1, n)$ 라 하고, 同一한  $i, n$ 에 대하여  $i-1, n$ 를 변경시켜  $i\phi(i, n, i-1, n)$ 가 最小가 되는 累加費用을  $i\phi(i, n)$ 라면

$i=1$ 인 경우

$$\begin{aligned} 1\phi(1, n) &= \text{Min}_{0, n} \{1\phi(1, n, 0, n)\} = \text{Min}_{0, n} \left\{ \psi(1, n) + \sum_{n=1}^{1, n} f_{sn}(1, n, 0, n) \right\} \\ &= \psi(1, n) + \sum_{n=1}^{1, n} f_{sn}(1, n, 0, n) \end{aligned}$$

上式에서  $0, n$ 는 初期値에서 주어진다.

$i=2$ 인 경우

$$\begin{aligned} 2\phi(2, n) &= \text{Min}_{1, n} \{2\phi(2, n, 1, n)\} \\ &= \text{Min}_{1, n} \left\{ 1\phi(1, n) + \psi(2, n) + \sum_{n=1}^{2, n} f_{sn}(2, n, 1, n) \right\} \end{aligned}$$

이 되고 일반적으로  $i$ 인 경우는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} i\phi(i, n) &= \text{Min}_{i-1, n} \{i\phi(i, n, i-1, n)\} \\ &= \text{Min}_{i-1, n} \left\{ (i-1)\phi(i-1, n) + \psi(i, n) + \sum_{n=1}^{i, n} f_{sn}(i, n, i-1, n) \right\} \quad (14) \end{aligned}$$

그러므로 (14)식에서  $i$ 시간대의 火力台數  $i, n$ 을 지정하고 이에 대하여  $i\phi(i, n, i-1, n)$ 이 最小가 되도록  $i-1, n$ , 또는  $\Delta i, n$ 을 결정해 나가면 最適並列台數 및 最適出力配分을 구할 수 있다.

#### 4. 事例研究(Case study)

##### (1) 模型特定

DP解法의 實제적인 적용을 검토하기 위하여 그림 2와 같이 우리나라 電力系統中 영남지역의 계통을 전 계통과 분리하여 연구 대상으로 설정한다.

##### (2) 模型의 諸特性

###### (a) 負荷少性

그림 2에서 대구 s/s의 負荷는 154KV 送電線의 潮流를 나타내고 본 검토에서 사용된 負荷는 發電端으로 換算된 負荷로서 발전소 所內電力을 무시한 각 발전소 출

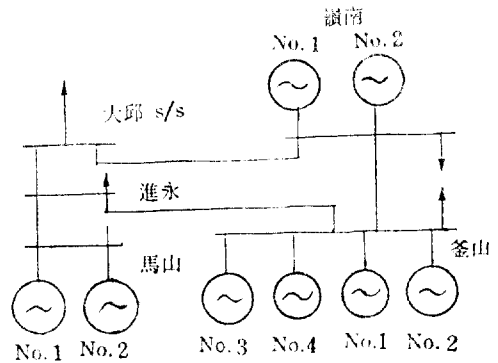


그림 2. 模型系統

Fig 2. Model for case study

력의 합계(1971년 9월 6일 실적)를 취하였다.

##### (b) 燃料費 特性

화력발전소의 발전비(Production cost)는 발전연료비와 발전소 운용에 필요한 인건비, 所內電力에 필요한 비용, 정기점검 및 운전 보수비등을 포함시켜 출력의 함수로 표시하여야 하나 본 사례 연구에서는 운전시 연료비  $f$ 만을 고려하여 (15)식과 같이 출력  $P$ 의 2차식으로 나타냈다.

$$f(p) = A + BP + CP^2 \quad (15)$$

各發電機의 經濟적인 出力配分에 필요한 增分燃料費(incremental fuel cost)는 燃料費特性이 (15)식으로 표시되는 경우

$$\frac{df(p)}{dp} = B + 2CP \quad (16)$$

과 같이 출력  $P$ 의 1차식으로 표시되며 發電機別 增分燃料費特性 및 特性係數  $A, B, C$ 는 그림 3. 및 표 1.과 같다.

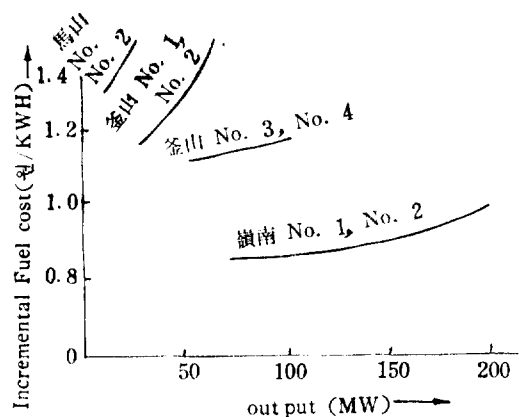


그림 3. 增分燃料費

Fig 3. Incremental fuel cost

표 1. 燃料費係數

Table 1. Coefficient of fuel cost

Unit 係數	嶺 南		釜		山		馬 山	
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
A	39.59	39.59	21.44	21.44	15.41	15.41	8.63	8.63
B	$0.6355 \times 10^{-3}$	$0.6355 \times 10^{-3}$	$0.8028 \times 10^{-3}$	$0.8028 \times 10^{-3}$	$0.8113 \times 10^{-3}$	$0.8113 \times 10^{-3}$	$0.9641 \times 10^{-3}$	$0.9641 \times 10^{-3}$
C	$0.9105 \times 10^{-9}$	$0.9105 \times 10^{-9}$	$0.2069 \times 10^{-8}$	$0.2069 \times 10^{-8}$	$0.5148 \times 10^{-8}$	$0.5148 \times 10^{-8}$	$0.1117 \times 10^{-7}$	$0.1117 \times 10^{-7}$

단, f: 천원/h      p: kW

(c) 起動費特性

起動費는 火力 unit의 총정지기간과 정지방법에 따라 달라지므로 (6)식과 같이 정지기간의 함수로 표시되어야 하나 본 검토에서는 자연냉각시 點火부터 並入까지 소요되는 總起動費의 概略值를 표 2.와 같이 산정하여 계산자료로 삼았다.

표 2. 起動費

Table 2. Starting fuel cost

Unit 區分	嶺 南		釜		山		馬 山	
	No. 1, No. 2	No. 3, No. 4	No. 1, No. 2	No. 3, No. 4	No. 1, No. 2	No. 3, No. 4	No. 1, No. 2	No. 3, No. 4
起動費 (천원)	136.2	85.7	55.	55.	19.3	19.3	19.3	19.3
起動時間 (시간)	4	4	8	8	8	8	8	8

(3) 계산조건

상술한 DP법에 의하여 본 문제를 풀기 위하여 다음과 같이 계산조건 및 初期值를 설정하였다.

(a) 最適運轉臺數를 결정하는 조건중 運轉豫備力, 安定度限界, 電壓維持 限界 및 送電線 容量限界等은 論外로 하고 총연료비에 대한 경제성을 검토대상으로 한다.

(b) 발전기 8대의 단위용량 및 열효율 특성에 현저한 차이가 있으므로 그림 3.으로 부터 並入 우선순위를 표 3.과 같이 정한다.

(c) 발전기의 정지조건은 자연냉각만을 고려하고 起動時間 이내에 再起動할 필요가 있을 때는 정지시키지 않는다.

(d) unit 별 총정지 기간의 初期值 假定은 前日運轉 실적으로부터 표 3.과 같이 정한다.

(e) 계산을 간단히 하기 위하여 線路損失  $P_L$ 는 무시한다.

(4) 계산과정

Programming은 Fortrn IV로 작성하였으며 段階別로 계산과정을 도시하면 그림 4.의 Flow chart와 같고 중요한 계산 技法을 요약하면 다음과 같다.

(a) 運轉可能臺數의 결정 (step:2)

考察區間을 24時間帶로 나누어 시간경과방향으로 前進型 計算法을 취하였고 계산속도를 빨리하기 위하여 各時間帶마다 運轉可能 臺數의 上限  $\bar{n}$ 과 下限  $\underline{n}$ 을 산정한다.

① 各時間帶에 있어서 最低必要 運轉臺數  $n_N$ 을 系統負荷와 最低運轉 豫備力을 감안하여 3대로 가정한다.

② 系統負荷  $P_T$ 와 發電機 우선순위에 따른 最大出力의 和  $\sum_{n=1}^{n_k} i P_n$ 을 비교하여  $P_T \geq \sum_{n=1}^{n_k} i P_n$ 을 만족하는  $n_k$ 중 最小 unit 數  $\bar{n}_k$ 를 산정하고  $n_N$ 과  $\bar{n}_k$ 中 큰 것을 (17)식과 같이 下限  $\underline{n}$ 으로 결정한다.

$$\underline{n} = \max\{n_N, \bar{n}_k\} \quad (17)$$

③ 最大 運轉臺數  $\bar{n}$ 는 模型 設定에서 8臺로 한다

④ 系統負荷  $P_T$ 와 발전기 最小출력의 和  $\sum_{n=1}^{n_k} i P_n$ 을 비교하여  $P_T \geq \sum_{n=1}^{n_k} i P_n$ 을 만족하는  $n_k$ 중 최대 unit 數  $\bar{n}_k$ 보다 큰 運轉臺數는 계산 대상에서 제외시킨다.

표 3. 初期值 및 制限條件

Table 3. Initial values and Constraints

Unit 區分	嶺 南		釜		山		馬 山	
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
優 先 順 位	1	2	3	4	5	6	7	8
初期停止期間 (Hours)	0	0	0	1	2	2	2	10
最 小 出 力 (MW)	100	100	50	50	30	30	10	10
最 大 出 力 (MW)	200	200	105	105	66	66	25	25

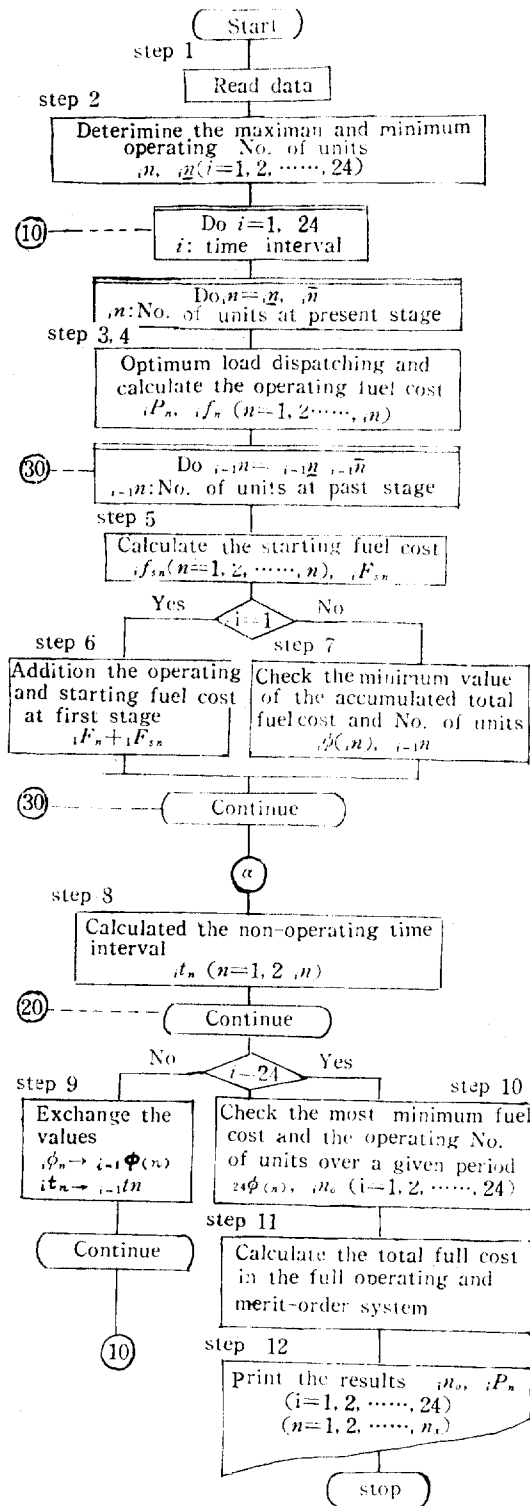


그림 4. 플로 차트

Fig. 4. Flow chart

⑤ 최대출력의 和  $\sum_{n=1}^{n_L} i\bar{P}_n$  와 負荷  $iP_T$  의 140%(假定值)와 비교하여  $1.4 \cdot iP_T \geq \sum_{n=1}^{n_L} i\bar{P}_n$  을 만족하는  $\bar{n}_L$  중  $\bar{n}_L+1$  보다 큰 운전대수는 다시 계산대상에서 제외시키고  $n_x, \bar{n}_k, \bar{n}_L+1$  中 제일 적은 것을 上限值  $i\bar{n}$  로 한다.

$$i\bar{n} = \text{Min}\{\bar{n}_x, \bar{n}_k, \bar{n}_L+1\} \quad (18)$$

(b) 出力配分 計算 (step:3)

時間帶 t에 있어서 運轉臺數  $i(n \leq n \leq \bar{n})$  을 指定하고 (1~i)n臺가 運轉하고 있을때 等增分費 이론에 따라 系統負荷  $iP_T$  를 各發電機의 出力의 和로 配分시킨다. 燃料費特性 및 增分燃料費가 (15), (16)式과 같이 표시 되는 경우  $iP_L$  을 無視하면

$$\frac{d(i f_n)}{d(i \bar{P}_n)} = B_n + 2C_n \cdot i P_n = \lambda \quad (19)$$

$$i P_n = \frac{\lambda - B_n}{2C_n} \quad (20)$$

$$i P_T = \frac{\lambda}{2} \sum_{n=1}^{i n} \frac{1}{C_n} - \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{i n} \frac{B_n}{C_n} \quad (21)$$

이 된다. (20), (21)式으로부터  $i P_n$  는

$$i P_n = \frac{1}{2C_n} \frac{\sum_{n=1}^{i n} \frac{B_n}{C_n} + 2 i P_T}{\sum_{n=1}^{i n} \frac{1}{C_n}} - \frac{B_n}{2C_n} \quad (22)$$

과 같이 유도되고 (22)式에 의하여  $i P_1, i P_2, \dots, i P_n$  의 出力을 配分할 수 있다. 만일  $i P_n$  이 各 unit 出力의 上限  $i \bar{P}_n$  과 下限  $i \underline{P}_n$  의 領域內에 속하지 않으면  $i P_n$  을  $i \bar{P}_n$  또는  $i \underline{P}_n$  으로 고정시키고 (22)式의  $i P_T, \sum_{n=1}^{i n} \frac{B_n}{C_n}, \sum_{n=1}^{i n} \frac{1}{C_n}$  은 새로 고정하여 나머지  $i P_n$  에 대하여 동일한 방법으로 反復計算한다.

(c) 起動費 計算 (step:5)

起動費는 運轉中에 있는 모든 火力 unit 마다 소요되는 것이 아니고

① i 時間帶의 運轉臺數  $i n$  이 i-1 時間帶의 運轉臺數  $i-1 n$  보다 크고

② 새로 並入된 火力 unit 의 總停止期間  $i t_n$  이 起動時間  $t_n$  보다 큰 경우 표 3. 으로부터 各火力 unit 의 起動費  $i f_{sn}$  과 總起動費  $i F_{sn}$  을 계산한다.

(d) 總停止期間計算 (step:8)

i-1 시간대의 最適運轉臺數가  $i-1 m_0$  인 경우  $i-1 m_0$  와  $i n$  을 비교하여 i 시간대 末까지의 各發電 unit No. k의 總停止期間  $i t(n, k)$  를 算定한다.

①  $i-1 m_0 < i n$  인 경우

$$\left. \begin{aligned} i+1 t(n, k) &= 0: (k=1, 2, \dots, i n) \\ i+1 t(n, k) &= i t(i-1 m_0, k) + 1: (k=i n+1, \dots, n_x) \end{aligned} \right\} (23)$$

②  $i-1 m_0 = i n$  인 경우

$$\left. \begin{aligned} i_{+1}t(i, k) &= 0: (k=1, 2, \dots, i, n) \\ i_{+1}t(i, k) &= i_t(i-1n_0, k) + 1: (k=i, n+1, \dots, n_x) \end{aligned} \right\} (24)$$

③  $i-1n_0 > i, n$  인 경우

$$\left. \begin{aligned} i_{+1}t(i, k) &= 0: (k=1, 2, \dots, i, n) \\ i_{+1}t(i, k) &= 1: (k=i, n+1, \dots, i-1n_0) \\ i_{+1}t(i, k) &= (i-1n_0, k): (k=i-1n_0+1, \dots, n_x) \end{aligned} \right\} (25)$$

단  $i_t(i, k)$ 는  $i$  시간대에 있어서 總運轉臺數가  $i, n$  臺인 경우 unit No.  $k$ 의 정지기간이다.

(e) 最適運轉臺數 選定 (step:10)

各  $i, n$ 에 대하여 前時間帶의 最適運轉臺數  $i-1n_0$ 를  $i, n_0(k)$ 에 記憶시킨다.

最終時間帶에 있어서 總燃料費를 비교하여 最小 燃料費에 해당하는 最適運轉臺數를  $z_{24}n'_0$ 라하면, 總考察期間을 고려한 各 時間帶의 最適運轉臺數가 결정된다.

$$\left. \begin{aligned} \text{即 } z_{24}n'_0 &= z_{24}n_0(k) \quad k \leftarrow z_{24}n'_0 \\ z_{23}n'_0 &= z_{23}n_0(k) \quad k \leftarrow z_{23}n'_0 \\ i'n'_0 &= i_{+1}n_0(k) \quad k \leftarrow i_{+1}n'_0 \\ i-1n'_0 &= i, n_0(k) \quad k \leftarrow i, n'_0 \\ i, n'_0 &= z_{i, n}n_0(k) \quad k \leftarrow z_{i, n}' \end{aligned} \right\} (26)$$

(f) 總燃料費 比較 (step:11)

起動, 停止를 고려하지 않고 全 unit 運轉時 모든  $i, n$ 을  $\bar{n}_x=8$ 로 指定하는 경우와 基底負荷法에 따라  $i, n$ 이 결정되는 경우 總燃料費를 상기 方法에 따라 計算한다.

5. 計算결과 및 검토(Computed Results and the Review)

(1) 最適並列 運轉臺數

計算결과 最適並列 運轉臺數를 圖示하면 그림 5.와 같다. 즉 No. 4(釜山 No. 4)와 No. 5(釜山 No. 1)는 9時에, No. 6(釜山 No. 2)는 Peak-time 19時에 各各 系統에 並入하고 No. 5(釜山 No. 1)와 No. 6(釜山 No. 2)는 23時에, No. 4(釜山 No. 3)는 24時에 停止하는 것이 가장 經濟적인 運用方法이다. 그림 5.의 × 表는 上記 計算과정에서 說明한 바와 같이 上限  $\bar{i}, n$ 과 下限  $\underline{i}, n$ 보다 크거나 작은 火力 unit No.에 해당된다. 이 이외의 表示點은 DP 計算 범위에 속한다. \* 表는  $i$ 時間帶에 있어서 火力發電機의 停은期間  $i, t_n$ 가 起動時間  $t_{s, n}$ 보다 적은 경우로 다시 DP 計算에서 제외된다.

○ 表는 最適經濟 運用 經路로서 總燃料費가 最小으로 되는 火力 unit No.이다.

(2) 最適出力配分

火力系統의 日間 經濟運用 計劃에 DP 法을 적용 計算한 결과 그림 6.과 같이 各發電機의 出力配分도 동시에 計算되었다.

(3) 經濟적 利益

DP 法에 의한 經濟運用時 日間 總燃料費는 15,204,640

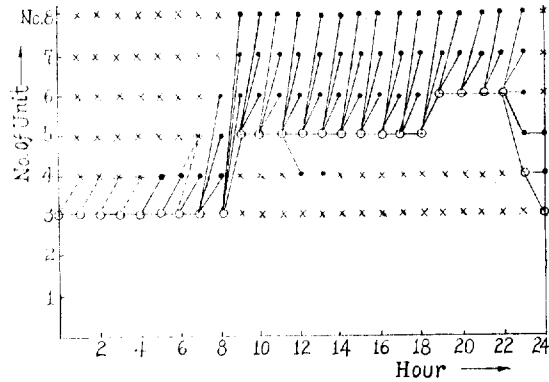


그림 5. 計算經路  
Fig 5. Computed Path

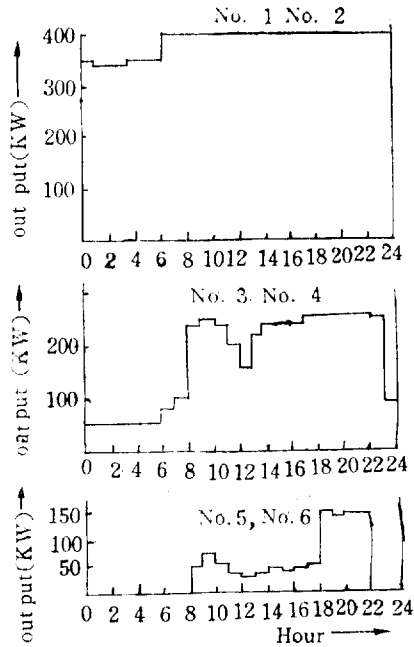


그림 6. 負荷配分  
Fig 6. Load distribution

원이며 이中 起動費는 全燃料費의 약 1.3%인 195,700 원으로 經濟運用에 크게 영향을 미치지 않는다. 停止起動을 고려하지 않고 全火力 unit 8臺를 等增分 燃料費 이론에 따라 出力配分하여 運轉할 경우 이에 소요되는 總燃料費는 16,004,337원으로 計劃 運用 結果 日間 799,697원(4.98%)의 燃料費 利益을 얻을수 있다. 增分 負荷法 外에 基底負荷法에 의하여 並列臺數 및 出力配分을 결정하는 경우 總燃料費는 15,221,087원이 소요되므로 日間 16,447원의 利益을 얻게된다.

(4) 문제점

상기 計算결과는 실제적인 제약조건중 無視된 사항

(安定度, 電壓維持, 地域內 供給信賴度, 線路容量, 損失等)들이 있으므로 상기 계산 결과에 豫備運轉臺數가 추가되어야 한다.

### 6. 결 론 (Conclusions)

(1) 火力發電機의 起動停止 問題를 포함하는 短期 經濟運用 問題는 DP 法의 特徵인 多段決定 過程을 구성하므로 DP 法을 적용하여 問題의 해법을 얻을수 있다.

(2) 火力 unit 8臺를 포함한 模型系統에 대하여는 1日 24時間의 經濟運用 計劃으로 DP 法을 適用 Computer (IBM 360/40)로 계산한 결과 만족스러운 最適 並列臺數 및 出力 配分 結果가 3분 10초 이내 에 계산되었으므로 實系統에 이용될 수 있는 解法이다.

(3) 계산결과 起動費는 전체 燃料費에 큰 영향을 미치지 않으며 最適並列臺數는 系統負荷와 發電設備를 고려한 運轉可能臺數中 火力發電機의 總停止期間이 起動時間보다 큰 unit 에 대하여 運轉時 燃料費가 최소가 되는 방향으로 결정된다.

(4) 본 검토에서는 安全度, 電壓維持, 地域간 電力용 통 및 線路容量等을 고려하지 않았으므로 실제로는 상기 계산결과에 豫備運轉臺數가 추가되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 宮田秀介: 電力系統의 計劃と運用 電氣書院, 1970, pp 189-216.
2. 關根泰次: 電力系統工學, 電氣書院 1966, pp 92-179.
3. 山崎久一, 三井恒夫: 電力系統의 運用, 오ーム社,

- 1963, pp 175-208.
4. 韓國産業開發研究所: Incremental fuel cost slide rule에 依한 經濟給電調査 研究 報告書, 1970, 7, pp 1-91.
5. 都築旋二: 水火並用系統 經濟運用 二關する研究, 1968, 12, pp 99-126.
6. 福田節雄: 電力系統工學, 오ーム社, 1966, pp 310-345.
7. 小田中敏男, 有水福譯: 應用ダイナミック, 日科技連, 1962, pp 325-354.
8. 小田中敏男: ダイナミック プログラミング, 丸善社 1963, pp 219-320.
9. 宋吉永: 電子計算機入問, 프로그래밍入問, 國際出版社, 1969, pp 160-306.
10. 朴永文: 電子計算機原理와 應用, 文運堂, 1969, pp 176-326.
11. 河竹好一: 火力發電機群의 起動停止方式, J. I. E. E. J 8/69 Vol. 89-8, pp 173-180.
12. I. Hano, Y. Tamura, & S. Narita: An Application of the Maximum Principle to the Most Economical Operation of Power System, IEEE Trans, Vol. PAS-85, No. 5, May 1966.
13. LEON K KIRCHMAYER: Economic Operation of Power Systems, John Wiley & Sons, INC., London, 1958.
14. R. CLAY SPROWLS: COMPUTERS, University of California, Los Angeles, 1969, pp 64-156.