電力系統의 經濟運用問題

〈水火力系統의 經濟運用計劃 計算法에 關하여〉

韓國電力株式會社・技術部・系統計劃課長
工學博士 宋 吉 永

(第 2 回)

4. 水火力發電機群의 經濟運用計劃

4.1 概 要

水火力併用系統의 經濟運用問題를 要約하면 아래와 같이 될 것이다.

"주어진 電力系統의 諸設備(水力發電設備, 火力發電設備 및 送電設備 等)로부터 定해지는 各種의 制限(例를 들면 火力發電機出力上下限, 水力使用水量上下限, 貯水量上下限 等)의 範圍內에서 주어진 流入量을 使用하여 負荷에 電力을 供給할 때 考察하고자 하는 期間 (1年, 1月, 1週, 1日 等)內에 있어서의 總發電費用 또는 總發電費用期待値가 最少로 되도록 그 期間內에 있어서의 各設備의 運用을 決定하라."

水火力併用系統의 經濟運用問題는 上述한 바와 같지만 이것을 數式化한다면 다음과 같이 制限條件을 包含한 變分問題가 될 것이다.

即 어디까지나 運用의 目的은 總發電費用의 最少化이므로

$$\int_o^T \sum_{n=1}^{m} F_n(t)\,dt \longrightarrow \text{minimum}$$

但 이때의 制限條件으로서는

(i) 全流入量 一定의 條件

$$\int_o^T J_k(t) = \text{一定值}$$

(ii) 需給 balance 條件

$$P_R(t) + P_L(t) = \sum_{K=1}^{m} P_k(t) + \sum_{n=1}^{m} G_n(t)$$

의 두가지를 생각하여야 될 것이다.

여기서

J_k : No. k 水力에의 流入量

P_R : 系統負荷

P_L : 全送電損失 $P_L(P_k(t) \cdot G_n(t))$

P_k : No. k 水力出力

G_n : No. n 火力出力

F_n : No. n 火力燃料費(發電費用)

T : 考察期間

t : 時 刻

또 이外에 運用에 關한 制限으로서는

$\underline{Q}_k \leq Q(t) \leq \overline{Q}_k$ ……………使用水量制限

$\underline{P}_k \leq P_k(t) \leq \overline{P}_k$ ……………水力出力制限

$\underline{S}_k \leq S_k(t) \leq \overline{S}_k$ ……………貯水量制限

$\underline{G}_n \leq G_n(t) \leq \overline{G}_n$ …………火力出力制限

其他 諸設備의 特性式 等이 여기에 附加될 것이다.

그런데 水火力併用系統의 經濟運用問題에 있어서는 考察期間이라는 것이 큰 問題가 되고 있다. 例를 들면 1個年이라는 比較的 긴 考察期間을 選定한다면 其間에 있어서의 流入量 J_r와 系統負荷(P_R)의 正確한 크기를 豫測하여야 하는데 實際로는 過去에 있어서의 統計를 基準으로 採用할 수 밖에 없으므로 確率論的解法을 생각하지 않으면 안되게 된다. 또 火力發電機의 定期補修時期選定 等의 實際設備運用上에 考慮할 點이 많으므로 問題가 한層 더 어렵게 되고 있다. 이에 對하여 系統負荷 및 流入量을 比較的 正確하게 豫測할 수 있는 程度의 考察期間(短期라 稱함)을 생각할 경우에는 決定論的解法으로도 充分할 것이며 本文에서도 主로 이 期間을 생각하는 것으로서 說明한다.

더욱더 짧은 期間(1日 程度)을 생각할 경우에는 長期 및 短期 運用計劃으로부터 定해진 運用을 올바르게 實際로 實施하고 制限한다는 것이 問題의 中

心이 될 것이다.

以上에 說明한 經濟運用問題의 解法으로서는 實際的인 觀點으로부터 다음과 같은 條件을 具備함이 要求될 것이다.

(1) 系統規模(對象發電所數, 水系의 構成 等)에 關係없이 同一한 手法을 適用할 수 있을 것.

(2) 系統의 諸特性이 數式, 數表 어느 形式으로 주어져도 計算이 可能할 것.

(3) 系統의 諸制限數가 많고 또 嚴하게 된 경우에도 適用할 수 있을 것.

(4) 長期運用問題에 關聯하여 河川出水 및 系統負荷의 確率을 考慮한 計算이 可能할 것.

(5) 計算結果는 最適運用을 決定할 뿐만 아니라 그 近方에 있어서의 運用의 傾向을 알 수 있도록 함으로써 豫想誤差가 생겼을 때 容易하게 修正할 수 있을 것.

(6) Digital 計算을 實施함에 있어 計算 Programming이 簡單하여 實際計算에 있어서의 所要時間이 짧고 또 複雜한 技巧를 要하지 않을 것.

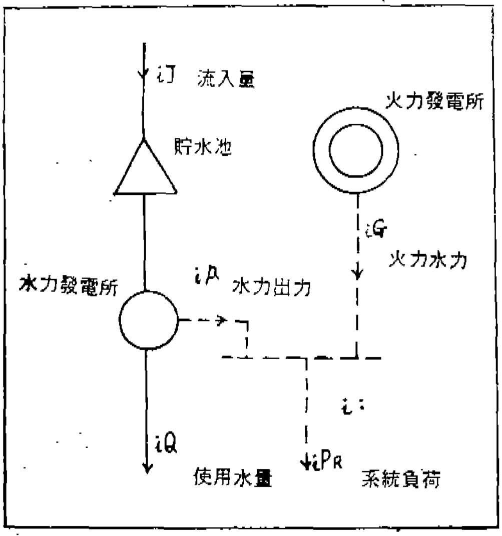
(7) 實際運用에 關聯하여 計算이 곧 系統運用制御에도 利用할 수 있을 것.

이와 같은 여러가지 要望에 應하기 爲하여 이제까지 數많은 解法이 硏究, 開發되어 왔는데 이것을 추려보면 大略 表 4—1과 같은 代表的인 몇가지로 分類된다.

(表 4—1) **水火力系統의 經濟運用計算法**

計算法名稱	方法의 槪要	特徵
(1) Gradient 法	◎ 考察期間中의 全燃料費가 減少하는 方向으로 各 獨立變數를 조금씩 修正한다. ◎ 修正量이 零이 될 때까지 되풀이한다. ◎ 火力間 負荷配分은 等增分費法에 依한다. ◎ 運用制限에 違反되는 量은 獨立變數로 換算해서 處理한다.	◎ 水力發電所數가 많아져도 適用可能. ◎ 水力變落差特性도 考慮할 수 있다. ◎ 얻어진 解答은 總燃料費 最小가 아니고 極小를 나타낸다.
(2) 水火力協調方程式法(γ 法) 落差變動을 無視할 경우	◎ 水火力協調方程式이 各 時刻에서 成立할 수 있도록 χ, γ를 決定한다. ◎ 火力間 負荷配分은 等增分費法에 依한다. ◎ 各水力의 各時間帶 使用水量을 γ의 時間帶 平均値의 偏差에 比例해서 修正한다.	◎ 水力發電所數가 많아져도 適用可能. ◎ 計算이 簡單하다. ◎ 運用制限에 關係되는 運用經濟性은 考慮되지 않는 點이 問題가 된다.
落差變動을 考慮할 경우	◎ 火力間 負荷配分은 等增分費法에 依한다. ◎ 第一時間帶의 Gamma(γ)를 여러가지로 變更하여 貯水量端點을 滿足케 하고 그때의 各時間帶의 γ를 決定한다. ◎ 水力使用水量은 協調方程式의 解로부터 決定한다.	◎ 使用水量 Balance條件을 計算하는 部分과 需給 Balance條件을 計算하는 部分으로 나누어 2種類의 反復計算을 行한다. ◎ 물의 單價를 導入하여 그 性質을 利用하고 있다.
(3) Linear Programming 法	◎ 諸特性을 一次式으로 나타내고 Linear Programming問題로서 푼다.	◎ Digital計算의 Linear Program을 그대로 利用할 수 있다.
(4) Dynamic Programming 法	◎ 最適性의 原理를 適用하여 그 時間帶의 最適化計算에 還元하고 i時點의 1貯水量으로부터 考察期間末指定 貯水量에 達하는 最適貯水量曲線을 決定한다. 各 時點에서의 各貯水量에 對해서 上記 計算을 한다. ◎ 指定된 貯水量端點條件을 滿足하는 解를 찾는다.	◎ 水力發電所數가 많아지면 適用不可能하게 된다. ◎ 不連續特性을 考慮할 수 있다. ◎ 總燃料費를 最少로 하는 運用을 決定할 수 있다. ◎ 確率量을 考慮할 수 있다. ◎ 長期運用問題에 適合하다.
(5) 最大原理法	◎ Pontryagin의 Maximum Principle의 基本式을 適用한다.	◎ 적은 Memory로써 計算할 수 있다. ◎ 貯水量制限을 理論的으로 考慮할 수 있다. ◎ 時間帶數가 많을 때는 有力하다.

上記 諸解法을 說明하기 前에 먼저 一般的인 水火力併用系統中에서 圖 4—1과 같이 가장 簡單한 경우를 Model 系統으로 採用하여 說明하겠다(記號는 그림中에 表示한 바와 같이 한다).



(圖 4—1) 簡略化한 水火力併用系統의 Model系統
(1水力 : 1火力 Model Systen)

이 Model 系統에 依據하여 水火力併用系統의 經濟運用問題를 定式化하면 아래와 같이 될 것이다.

${}_iP_R={}_iG+{}_iP-{}_iP_L$…………需給Balance

${}_iP={}_iH_iD$ …………………水力出力

${}_iH=a+b_iS-C_iQ$…………有効落差(a, b, c 定數)

${}_iD=e_iQ-Q_o$ ……………有効使用水量(e, Q_o 定數)

${}_{i+}{}_iS={}_iS+{}_iJ-{}_iQ$………貯水量關係式

${}_iF=\alpha_o+\alpha_iG+\beta_iG^2+\gamma_iG^3$…燃料費特性

$\underline{Q}\leq{}_iQ\leq\overline{Q}$………………使用水量制限

$\underline{S}\leq{}_iS\leq\bar{S}$…………………貯水量制限

$\underline{G}\leq{}_iG\leq\overline{G}$ ………………火力出力制限

$\sum_{i=1}^{n}{}_iF=F_T$……………… 總燃料費

${}_iJ$. ${}_iP_r$≒given($_i$=1…N)…流入量 및 系統負荷 指定

貯水池數 또는 火力發電所數가 많은 경우에도 系統構成에 따라 適宜 이와 같은 諸關係를 세울 수 있다.

여기에서 ${}_iS$ 以外는 各 分割區間(普通 考察期間 T를 N時間帶로 分割하여 計算함)內에 있어서 一定하다고 생각하고 ${}_iS$만 各 分割時刻에 있어서의 크기를 가진다고 생각한다. 따라서 貯水池에 모인 貯水量 V (m^3)와 上述한 ${}_iS$와의 關係를 다음처럼 取扱하면 便利할 것이다.

V (m^3) / (1時間帶의 幅) sec$={}_iS$ (m^3/sec)

이와 같이 數式을 比較하고 보면 問題는 流入量 iJ 및 系統負荷 ${}_iP_R$ ($_i$=1. 2……N)가 指定되었을 때 指定된 考察期間內에서의 總燃料費(F_T)는 各時間帶에 있어서의 火力燃料費의 總和가 될 것이며 이때 F_T의 크기를 最少로 하는 貯水量(${}_iS$) 및 使用量(${}_iQ$)를 決定하는 問題로 表現될 것이다.

지금 i時間帶에 있어서의 火力燃料費 ${}_iF$를 생각하여 보건대 이 時間帶에 있어서의 流入量 ${}_iJ$와 系統負荷 ${}_iP_R$가 指定되고 있다면 時間帶의 처음과 마지막의 貯水量(i_{-1} S, ${}_iS$)만 指定함으로써 流入量과 貯水量의 關係로부터 使用水量 ${}_iQ$, 따라서 水力發電機出力 ${}_iP$가 算定되고 다시 需給平衡條件으로부터 火力發電機出力 ${}_iG$(따라서 이로부터 火力燃料費 ${}_iF$)가 算定될 것이다.

4. 2 決定論的 水力配分問題

前述한 바와 같이 여기서는 考察期間(1日 또는 數日間)의 各時刻에 있어서의 負荷 및 流入量이 指定되고 있다는 條件下에서 考察期間內에서의 各水火力發電所의 經濟運用을 決定하는 問題를 생각하기로 한다.

여기에서 알아두지 않으면 안될 事項으로서는

(1) 長期運用計劃으로부터 各貯水池 및 各調整池의 考察期間末의 水位를 얼마 程度로 하지 않으면 안될 것인가?

(2) 考察期間內 各時刻에서의 系統構成이 어떻게 되고 있는가? 또 運轉可能한 設備는 어느 程度인가?

(3) 必要로 하는 運轉豫備力은 어느 程度인가?

이들이 指定되면 豫想한 流入量 및 負荷에 對하여 考察期間內에 必要로 하는 火力燃料費를 最少로 할 수 있는 水火力系統의 經濟運用計劃을 算定하는 段階에 들어가게 된다.

한편 水火力系統의 經濟運用計劃은 다음의 두가지 部分으로 나눌 수 있을 것이다. 即

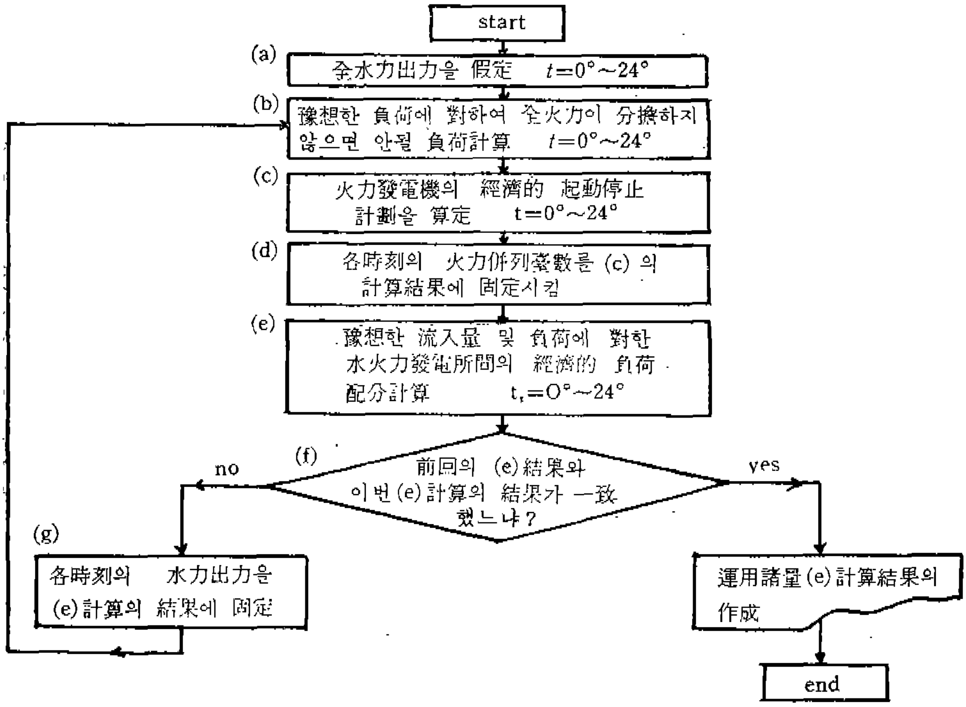
(i) 所要運轉豫備力을 考慮에 넣어 發電機(主로 火力) 併列臺數를 決定하는 部分과

(ii) 併列된 水火力發電所間의 負荷配分을 決定하는 部分이다. 여기서 (i)의 部分은 全水力發電所의 運用이 이미 決定되고 있다는 狀態에서

火力發電機의 經濟的 起動停止를 考慮하여 各時刻의 火力發電機 併列臺數를 決定하는 問題이며 (ii)의 部分은 火力發電機의 各時刻에서의 併列臺數가 既知라는 狀態에서 水火力發電所의 經濟的 負荷配分을 決定하는 問題로 되고 있다.

이 두가지 問題는 서로서로 密接한 關聯을 가지는 것이므로 圖 4—2에서 보는 바와 같이 適當한 假定(例를 들면. 前日實績)으로부터 出發하여 (i) 및 (ii)의 두가지 問題를 收斂할 때까지 反復計算하게 될 것이다.

理論的으로는 (i) 및 (ii)의 두가지 問題로 分離하지 말고 한꺼번에 푸는 것이 더 所望되는 方法이겠으나 水力發電所(特히 貯水量의 變化를 考慮하지 않으면 안될 곳) 數가 많을 경우 및 火力發電機의 起動停止를 考慮한다면 經濟的 負荷配分問題에 顯著한 不連續性을 加味하게 되므로 올바른 解答을 求하기가 極히 어려워질 것이다. 따라서 一般的으로는 上述한 바와 같은 反復計算法을 많이 採用하고 있는 것이다. 여기에서 具體的으로 系統負荷 및 流入量을 豫想하고 運用에 關한 諸條件을 다루어 가지고 各時刻의 火力發電機 併列臺數를 決定하게 된다면 水火力發電機間의 經濟的 負荷配分을 決定하는 順序에 들어가게 될 것이다.



(圖 4—2) **水火力系統의 短期經濟運用計劃計算의 Flow Chart**

여기에서 計算을 實行한다는 內容은 "考察期間內에서 火力燃料費를 가장 적게 하는 各發電所出力이 各時刻에서 어떻게 되지 않으면 안되는 것인가"하는 것으로 이에 對한 計算方法은 앞서 表 4—1에서 보인 바와 같이 이미 여러가지 方法이 開發되고 있다.

原理的으로는 上述한 諸方法中 어느 것을 採用하여도 經濟的인 負荷配分計劃을 決定할 수 있을 것이나 實際系統에서는 貯水量의 變化를 考慮하지 않으면 안될 發電所가 많이 있기 때문에 每日의 運用計劃計算에는 上記中 (1)의 Gradient 法 및 (2)의 Gamma法(協調方程式法)이 主로 實用化되고 있다.

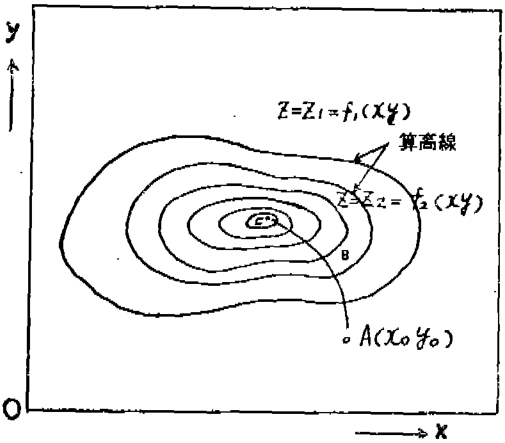
다음에 說明을 簡單히 하기 爲하여 圖 4—1에서 表示한 바와 같은 1水力, 1火力으로부터 構成되는 Model系統을 使用하여 代表的인 이두가지 計算方法을 說明하겠다.

(1) Gradient 法

Gradient法은 別名 最大傾斜法이라고 불리는 바와 같이 極値에 到達하기 爲하여 最大傾斜方向의

經路를 찾는 方法이라 하겠다.

이 方法의 物理的인 概念을 確實히 하기 爲하여 다음과 같은 登山問題를 例로 들어 보겠다.



(圖 4—3) 登山을 例로한 Gradient法의 原理圖

圖 4—3은 等高線으로 나타낸 地形으로서 各地點은 Z (xy)로서 表示된다.

지금 山기슭의 任意의 地點 A$(x_o y_o)$로부터 山頂上까지 간다고 한다. 이때 最短코오스는 山頂에 向하는 途中 各地點까지 等高線에 垂直으로, 다시 말하면 傾斜가 언제나 最大가 되는 方向으로 가는 코오스일 것이다. 이 코오스를 A-B-C라고 하면 A點에서 山頂上까지 이르는 다른 如何한 코오스도 A-B-C와 比하면 언제나 길게 所要될 것이다. Gradient法의 數學的인 吟味는 여기서 省略하겠으나 要는 各地點의 높이 $Z=f(xy)$가 燃料費 F(xy)에, 地點을 나타내는 xy가 發電所의 使用水量(또는 出力)에 該當되며 이때 使用水量 $x \cdot y$를 最大傾斜의 方向에 $\triangle x \triangle y$씩 變化시켜 燃料費 F의 極少가 되는 $x \cdot y$를 찾는 問題로 볼 수 있다. 最大傾斜의 x成分, y成分은 各各 $\frac{\partial f}{\partial x}$ $\frac{\partial f}{\partial y}$로서 求해지므로 이에 比例하는 $\triangle x$ $\triangle y$를 式에서 내어

$$\triangle x=k\frac{\partial f}{\partial x}, \quad \triangle y=k\frac{\partial f}{\partial y} \quad (k>o: \text{任意의 定數})$$

$x+\triangle x$, $y+\triangle y$를 各各 새로운 $x \cdot y$로 해서 $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$를 求한다. 이와 같은 手續을 거듭하여 最終的으로 Z가 最大로 될 때까지 繼續하는 것이다.

다음 電力系統에서 水力發電所 k個所, 火力發電所 m個所로 構成되는 系統에 이것을 適用하여 보겠다.

考察하는 期間 T를 24時間帶로 分割하고(N=24) 各時間帶 i의 燃料費를 $_iF$, 水力 및 火力 出力을 各各 $_iP_R$, $_iG_n$, 總燃料費 F_T, 負荷 $_iP_R$, 送電損失 $_iP_L$, 水力發電所使用水量 $_iQ_k$, 貯水量 $_iS_r$이라 하면 (圖 4—1 參照) 經濟運用計劃問題는 다음과 같이 될 것이다.

먼저 電力需給 Balance條件으로부터

$$_iP_R+{}_iP_L-\sum_{k=1}^{k} P_k-\sum_{n=1}^{m} G_n=o \qquad (4—1)$$

期間 T에 있어서의 水力發電所 使用水量 一定條件으로부터

$$\sum_{i=1}^{24} {}_iQ_k=Q_{Tk} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{一定} \qquad (4—2)$$

이밖에 水力 및 火力發電所는 다음과 같은 諸特性및 諸制限條件을 가진다고 한다.

$$_iP_k={}_iH_k \cdot {}_iD_k=a_k+b_k \; {}_iS_k+({}_kS_k^2)(d_k \; {}_iQ_k+Q_{ok}) \qquad (4—3)$$

$$_iS_k={}_{i-1}S_k+{}_iJ_k+{}_iQ_{k-1}+{}_i\partial_{k-1}-{}_iQ_k-{}_i\partial_k \qquad (4—4)$$

$$_iF_n=\alpha_{oj}+\alpha_j \; {}_iG_n+\beta_j \; {}_iG_n^2 \qquad (4—5)$$

$$\underline{S_k} \leq {}_iS_k \leq \overline{S_k} \qquad (4—6)$$

$$\underline{Q_k} \leq {}_iQ_k \leq \overline{Q_k} \qquad (4—7)$$

$$\underline{G_n} \leq {}_iG_n \leq \overline{G_n} \qquad (4—8)$$

以上 (4—1)~(4—8)의 條件下에서 總燃料費 $F_T=\sum_i \sum_n {}_iF_n$ (4—9)를 最少로 하는 $_iQ_k$를 求하는 問題가 된다.

여기서 最大傾斜의 方向成分 $\frac{\partial F_T}{\partial_i Q_k}$는 아래와 같이 된다.

$$\frac{\partial F_T}{\partial_i Q_k}=-{}_iM_k+\sum_{\mu=i+1}^{24} {}_uN_k-\sum_{\mu=i+1}^{24} {}_uN_{k+1} \qquad (4—10)$$

但

$$_iM_k={}_i\lambda(1-\partial_iP_L/\partial_iP_k)\,{}_iH_k d_k \qquad (4—11)$$

$$_iN_k={}_i\lambda(1-\partial_iP_L/\partial_iP_k)\,{}_iD_k(b_{k+2}C_k \; {}_iS_k) \qquad (4—12)$$

$$_iN_k={}_i\lambda(1-\partial_iP_L/\partial_iP_{k+1})\,{}_iD_{k+1}(b_{k+1}+2C_{k+1}+{}_iS_{k+1}) \qquad (4—13)$$

平均 Gradient 法에서는 使用水量修正量($\triangle_iQ_k$: 登山例에서의 $\triangle x \cdot y$에 相當)은 次式으로부터

$$-k\left\{\frac{\partial F_T}{\partial_iQ_k}-\frac{1}{12}\sum_{u=1}^{24}\frac{\partial F}{\partial_uQ}\right\}=\triangle_iQ_k \qquad (4—14)$$

이것을 獨立變數의 數만큼(곧 24×k個) 求하여 各使用水量을 修正하면서 Cost가 最少로 될 때까지 反復計算하는 것이다. 여기서 $_i\lambda$는 未定乘數로서 受電端 增分費用에 相當하게 되는 것이며 具體的으로는 이것을 아래와 같이 求하고 있다.

即 前述한 바와 같이 第一 먼저 水力發電所의 使

用水量이 定해지므로 이것을 使用하여 水力發電所의 合計出力($\sum_{k=1}^{k} {}_iP_k$)을 算出하게 된다. 다음에 送電端需用(${}_iP_R+{}_iP_L$)으로부터 이水力出力 $\sum_{k=1}^{k} {}_iP_k$를 빼면 火力發電所의 合計分擔量 $\sum_{n=1}^{n} G_n$가 求해질 것이다. 그 結果 남은 火力間의 出力配分을 前章에서 說明한 (4—15), (4—16)式의 電力協調方程式을 풀면서 算出하게 되는데 이때 各 火力出力 G_n와 同時에 ${}_i\lambda$가 算出될 것이다.

$$\frac{d_iF}{d_iG_1}\left(\frac{1}{1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iG_1}}\right)=\frac{d_iF_2}{d_iG_2}\left(\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial G_2}}\right)\cdots\cdots={}_i\lambda \qquad (4—15)$$

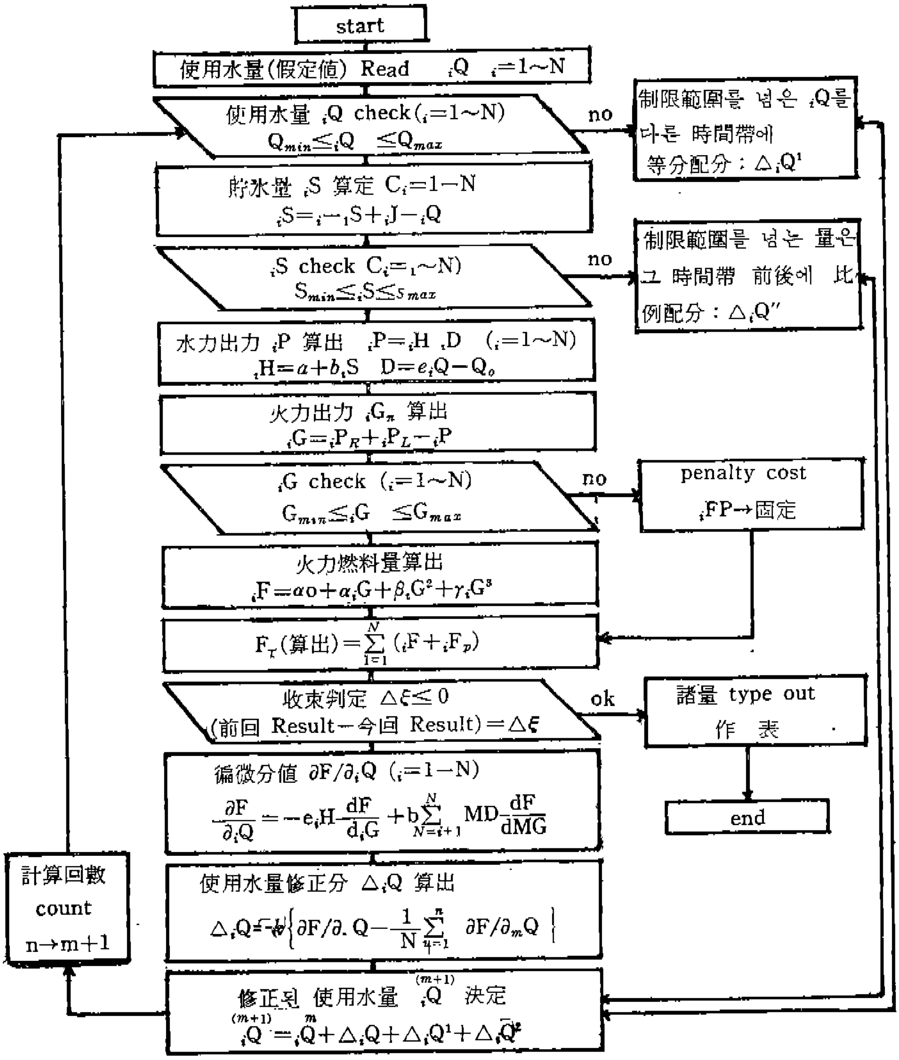
$$G_1+G_2+\cdots\cdots+G_m=\sum_{n=1}^{m} \qquad (4—16)$$

이와 같은 Gradient法에 있어서는 獨立變數로서 貯水量(${}_iS$), 使用水量(${}_iQ$) 어느 것을 採用하여도 풀 수 있을 것이나 運用이 貯水量制限에 걸리는 수가 많을 것으로 想像될 때에는 貯水量을 獨立變數로 하는 것이 計算이 容易해질 것이다.

다음 圖 4—4에 使用水量을 獨立變數로한 Gradient法의 Flow圖를 보인다.

(2) 協調方程式法

水力發電所의 增分水單價 γ는 假想的인 單價이며 어느 期間에 있어서의 全使用水量을 決定함으로



(圖 4—4) **Gradient 法의 Flow圖** (${}_iQ$: 獨立變數)

써 定해지는 一種의 Lagrange 未定定數이다.

火力發電所의 燃料單價는 市場條件에서 決定되는 것으로서 그 自身 電力系統의 條件에 따라 變化하는 것이 아니다. 여기에 比하여 增分水單價 γ는 考察된 期間에 指定된 使用水量을 꼭 다 쓰게끔 定해지는 것이므로 使用水量 指定値의 大小에 따라 變化한다. 또 有効落差가 貯水量의 增減에 따라 變化하는 貯水池에 있어서는 通常增分水單價 γ는 時間的으로 低下해 가는 性質을 가짐과 同時에 貯水量이 上限値에 머무르고 있는 時間에서는 時間的으로 上昇하고 貯水量이 下限値에 머무르고 있는 時間에서는 γ는 時間的으로 降下하게 된다.

지금 簡單한 케이스로서 貯水池의 容量이 커서 對象으로 하는 期間內에 있어서는 貯水量의 上下限의 制約을 받지 않고 또 有効落差의 變動을 無視할 수 있다고 생각할 때의 水火力協調方程式法을 說明하겠다.

먼저 Lagrange의 未定乘數를 導入하여 다음 式을 만든다.

$$\phi=F_T({}_iG)-\lambda({}_iG+{}_iP_L-{}_iP_R)+\gamma\left(\sum_{i=1}^{n}{}_iQ-Q_T\right) \quad (4-17)$$

여기서 $F_T({}_iG)=\sum_{i=1}^{n}{}_iF({}_iG)$ ……全燃料費

(4—17) 式을 獨立變數 ${}_iG$, ${}_iP$, λ,γ로 偏微分하여 零으로 두면 ϕ를 最小로 하는 必要充分條件이 얻어질 것이다.

即 $\dfrac{\partial\phi}{\partial_i P}=0\rightarrow\dfrac{\partial F_T({}_iG)}{\partial_i G}-\lambda(1-\dfrac{\partial_i P_L}{\partial_i G})=0$

$$\frac{d_iF({}_iG)}{d_iG}=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iG}) \quad (4-18)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial_iP}=0\rightarrow-\gamma(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iP})=\gamma\frac{\partial_iQ}{\partial_iP}=0$$

$$\therefore\gamma\frac{\partial_iQ}{\partial_iP}=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iP})\cdots\cdots\cdots(4-19)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial\lambda}=0\rightarrow{}_iG+{}_iP-{}_iP_L=0\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4-20)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial\gamma}=0\rightarrow\sum_{i=1}^{n}{}_iQ-Q_T=0\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4-21)$$

(4—17)～(4—21)는 水火力協調方程式이라 불려지는 것이다.

以上 水力 및 火力發電所가 많이 섞여 있는 경우의 水火力 協調方程式을 整理하면 아래와 같이 될 것이다.

$$\frac{d_iF_n}{d_iG_n}=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iG_n}) \quad (4-22)$$

$n=1\sim n$ (火力發電所數)

$$\gamma_k\frac{\partial_iQ_k}{\partial_iP_k}=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iP_k}) \quad (4-23)$$

但 落差變動을 無視할 때에는 γ_i는 定値이다.

$k=1\sim k$ (水力 發電所數)

$$\sum_{n=1}^{n}{}_iG_n+\sum_{k=1}^{k}{}_iP_k-{}_iP_L={}_iP_R \quad (4-24)$$

$$\sum_{i=1}^{n}{}_iQ_k=Q_{TK} \quad (4-25)$$

$k=1\sim k$

以上은 火力發電機群의 經濟運用計算의 경우와 거의 비슷하나 (4—25)式에 쓴 바와 같은 使用水量에 關한 條件이 있으므로 이 條件을 滿足하게끔 γ의 크기를 選定할 操作이 必要하게 된다.

上述한 內容을 Bigital 計算할 때에는 먼저 γ를 假定하여 負荷配分을 計算하고 그 結果 定해지는 使用水量의 總和가 (4—25)式을 滿足하는가 어떤가를 判別한다. 萬一 이것이 滿足하지 않는다면 다시 γ를 修正하여 同上 計算을 거듭하면 될 것이다.

이 外에도 反復計算回數를 주리기 爲한 實用的인 方法으로서는 圖 4—5에 表示하는 바와 같이 各時間帶의 使用水量 ${}_iQ$를 假定하여 푸는 方法이 있다.

이 方法에서는 全使用水量 一定이라는 條件을 考慮한 ${}_iQ$가 假定되어 있으므로 이로부터 곧 水, 火力出力이 算定된다. 다음에 需給 Dalance條件을 考慮한 火力出力이 計算되고 이때의 ${}_i\lambda$에 該當되는 γ를 求할 수 있게 될 것이다.

이 操作을 各時間帶에 實施하면 ${}_i\gamma$ $({}_i=1\sim N)$가 決定된다.

이 ${}_i\gamma$는 一定値가 되므로(落差變動 無視의 경우) ${}_i\gamma$의 平均値로부터의 偏差에 比例한 使用水量 ${}_iQ$를 修正하여 同上의 計算을 거듭하는 것이다.

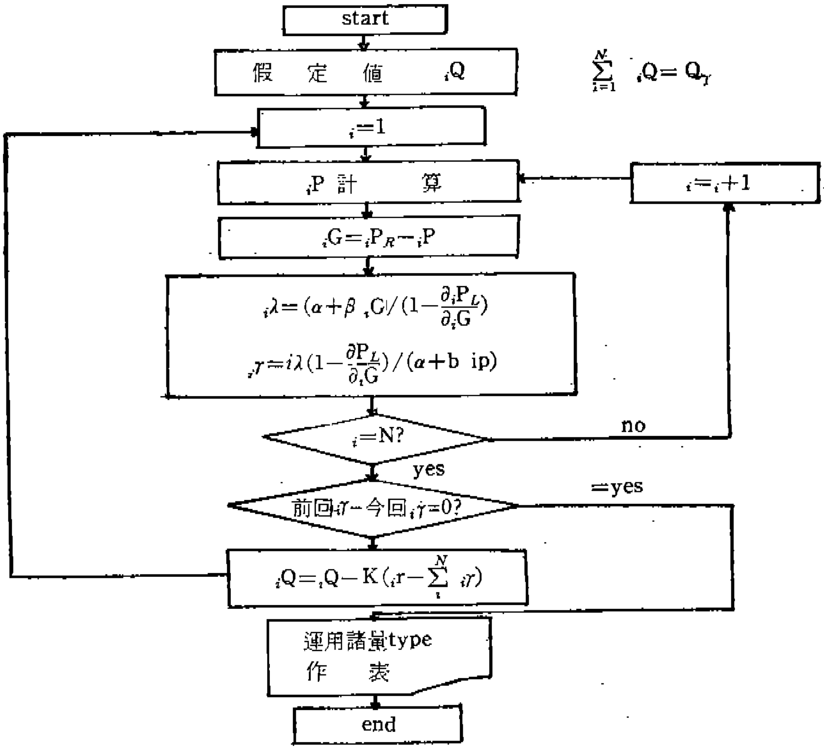
이 方法은 ${}_i\gamma$의 平均値를 使用하므로 「γ 平均化法」이라고 불려진다.

한편 水力出力特性이 直線(効率 一定)이라고 近似的으로 假定하면 落差一定이라는 條件으로부터 (4—19)式에 表示한 $\partial Q/\partial P$項은 一定値가 되어 使用水量 一定이라는 條件은 考察期間內에 있어서의 水力出力量 一定이라는 條件으로 置換되게 될 것이다.

곧 이때에는 아래를 풀게 되는 것이다.

$$\frac{d_iF}{d_iG}=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iG}) \qquad \phi=\lambda(1-\frac{\partial_iP_L}{\partial_iP})$$

$${}_iG+{}_iP-{}_iP_L={}_iP_R \qquad \sum_{i=1}^{N}{}_iP=P_T$$



(圖 4—5) 協調方程式에 依한 計算槪要(γ平均化法)

電 氣 會 館 講 堂 使 用 料 (1968年 2月 28日까지 通用)

區 分		講堂全部(150席) 使用時			講堂一部(75席) 使用時			備 考
		特別會員	一 般	暖房料	特別會員	一 般	暖房料	
平 日	全 日	3,000	3,900	1,000	1,800	2,300	600	1. 本表에서 全日은 9:00~18:00 午前은 9:00~13:00 午後는14:00~18:00 2. 午前과 午後에 걸칠 경우(例 11:00~15:00) 等은 全日로 取扱함. 3. 會館建立資金出資者, 會館入住者 및 其他 特히 電氣協會가 認定하는 者에 對하여서는 特別會員 待遇를 할 수 있음. 4. 單位 : 원
	午 前	1,800	2,300	600	1,100	1,400	400	
	午 後	1,800	2,300	600	1,100	1,400	400	
土曜日	全 日	3,300	4,300	1,100	2,000	2,600	700	
	午 前	1,800	2,300	600	1,100	1,400	400	
	午 後	2,200	2,800	700	1,300	1,700	400	
休 日	全 日	3,600	4,700	1,200	2,200	2,800	700	
	午 前	2,200	2,800	700	1,300	1,700	400	
	午 後	2,200	2,800	700	1,300	1,700	400	
18:00 以後의 使用時間數에 對한 時間當 使用料		600	700	200	300	400	100	