

# 電力系統의 經濟運用問題

<日本에 있어서의 經濟運用設備의 設置狀況과 運用의 現況>

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 3 回)

## 緒 言

앞서 두차례에 걸쳐 電力系統의 經濟運用問題라는 것이 어떠한 것이며 또 어떤 方法으로 이 問題를 풀고자 하고 있는가를 簡單히 說明하였다. 이미 外國 電力會社에서는 電子計算機를 導入하여 自動給電을 實施하고 있는 데도 많다.

本稿에서는 이 經濟運用問題를 다루기 爲하여 具體적으로 어떠한 裝置를 設置하고 또 어떻게 이것을 運用하고 있는가를 參考로 紹介하여 볼가 한다.

實際적인 例로서는 여러나라 것을 들 수 있겠으나 여기서는 今年 6월에 開催된 第2回 IFAC/IFIP Conference 에 發表된 日本의 “Application of Digital Computer to Process Control” 에 依據하여 가까운 이웃 日本에서의 運用現況만을 들어 보기로 한다.

## 1. 經濟運用設備의 設置狀況

日本電力系統은 圖-1 에서 보는 바와 같이 거의 9大電力會社와 電源開發會社로 構成되어 있으며 同圖에 表示한 바와 같은 發電設備를 가지고 連繫運轉을 하고 있다. 各 電力會社는 水火力併用系統이며 火力設備가 占하는 比率은 圖中에 表示한 바와 같다.

表-1 에 現在 各 電力會社에 設置되어 있는 經濟運用到 關한 諸設備의 設置狀況을 살았다. 여기에서 볼 수 있는 바와 같이 Digital Computer (Hybrid 型 包含)를 主로 하는 데가 5社, Analog Com-

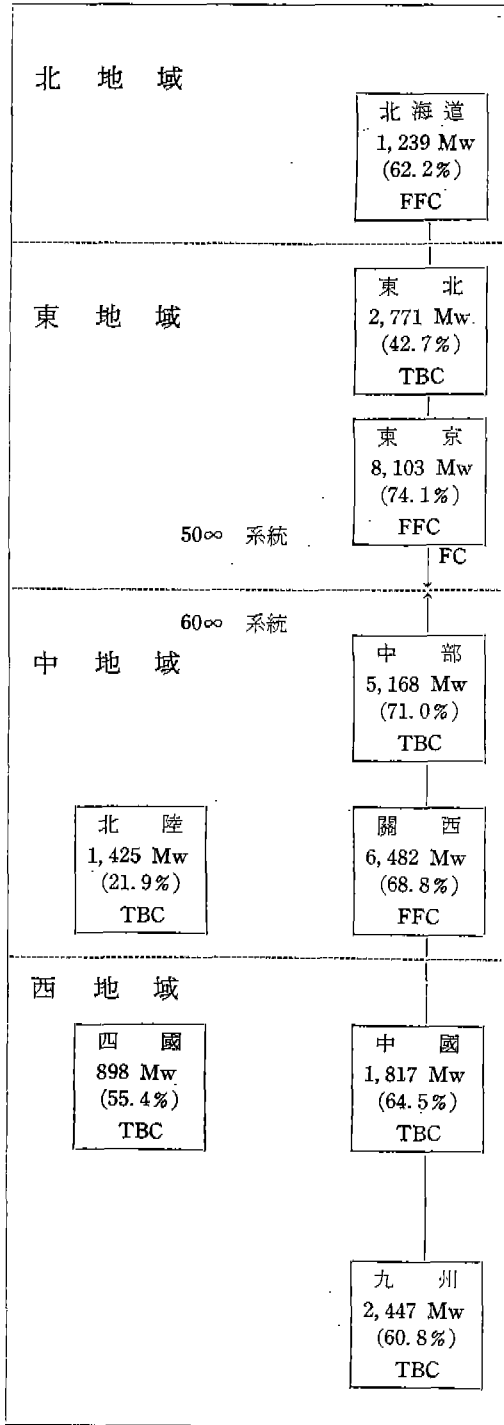
puter 를 主로 하는 데가 3社, 未設置가 1社로 되어 있다(1966年 12月 現在).

上述한 바와 같이 日本電力系統은 水火力系統인데 水力發電所에는 自流式, 調整池式, 貯水池式 및 揚水式의 各種이 있으며 또 이것들이 同一水系上에 連接하고 있는 경우가 많고, 또 小容量發電所가 많기 때문에 經濟運用計算內容이 甚히 複雜한 것으로 되어 있다. 따라서 計算機도 Digital 計算機를 包含한 Hybrid 型이 많이 採用되고 있다.

이 외에도 會社에 따라서는 直列水系 水力發電所群의 經濟運用計劃을 計算하기 爲한 水系運用計算裝置를 開發使用하고 있는 데도 있다.

需用地點과 水力電源地帶間 또는 散在되어 있는 需用地와 電源間을 連結하는 送電線과 電力會社 相互間의 系統連絡線 등이 相當히 廣範圍하게 퍼져 있기 때문에 (即 送電線이 길다) 送電損失의 影響을 無視못하게 되어 있다. 따라서 水火力系統의 經濟運用計算에서는 送電損失을 考慮할 수 있게끔 經濟運用計算裝置에는 B 係數方程式 또는 模擬回路方式에 依한 送電損失率計算部가 備置되어 있다.

Hybrid 型 計算裝置는 4個 電力會社에 設置되어 있다. 北海道電力과 九州電力의 것은 Digital 計算機로 물의 假想單價  $\gamma$ (Gamma)를 決定하고 이것을 Analog 部分에 줄으로써 水火力協調方程式을 푸는 방식이며 東北電力과 關西電力의 것은 Digital 計算機로 各 水力發電所出力을 計算하고 火力出力을 Analog 部分에서 計算시킴으로써 兩者의 協調를 期하고 있다.



○ 9大電力會社 設備容量 (水火力 比率)

|    |           |       |
|----|-----------|-------|
| 火力 | 19,598 Mw | 64.7% |
| 水力 | 10,784 Mw | 35.3% |
| 計  | 30,382 Mw |       |

○ 電源開發會社 設備容量

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| 火力 | 150 Mw   | 5.2%  |
| 水力 | 2,746 Mw | 94.8% |
| 計  | 2,896 Mw |       |

○ 其他 設備容量

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| 火力 | 1,475 Mw | 45.6% |
| 水力 | 1,758 Mw | 54.4% |
| 計  | 3,233 Mw |       |

○ 全國總合 設備容量

|    |           |       |
|----|-----------|-------|
| 火力 | 21,223 Mw | 58.2% |
| 水力 | 15,288 Mw | 41.8% |
| 總計 | 36,511 Mw |       |

(1966. 3. 31 現在)

〔註〕 數字：各 電力會社 設備容量  
 ( )：火力設備の 比率  
 FC：周波數 變換  
 FFC：定周波數 制御  
 TBC：Tie-Line Bias 制御

★ 原稿募集 ★

第11號의 原稿을 募集합니다.

- 業體・團體 消息      ○ 研究事項
- 評論・提言              ○ 隨筆・紀行

枚數：制限 없음 (但 橫書)

마 日：1968年 2月 10日

送付處：大韓電氣協會 事務局

備考：掲載分 稿料贈呈

(圖-1) 日本에 있어서의 連繫系統의 構成

(表-1)

經濟運用設備의 現狀

| 電力會社名           | 北海道             | 東北              | 東京                    | 中部                    | 關西                    | 中國                | 四國           | 九州                  | 北陸               |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------|---------------------|------------------|
| AFC 裝置 型式       | Anlaog          | Analog          | Analog                | Analog                | Digital               | Analog            | Analog       | Analog              | Analog + Digital |
| AFC 運轉發電所數      | 水力 2<br>火力 2    | 水力 7<br>火力 3    | 水力 8<br>火力 6          | 水力 5<br>火力 5          | 水力 3<br>火力 8          | 水力 5<br>火力 4      | 水力 5<br>火力 3 | 水力 5<br>火力 7        | 水力 4             |
| ELD 型式          | Hybrid          | Hybrid          | Analog                | Analog                | Hybrid                | Analog            | Digital      | Hybrid              | 檢討中              |
| Model           | TOSBAC<br>3129  | HIPAC<br>103    |                       |                       | HIPAC<br>103          |                   | HIPAC<br>103 | TOSBAC<br>3300B     |                  |
| Memory          | 5,000           | 8,192           |                       |                       | 8,192                 |                   | 8,192        | 49,792              |                  |
| Analog Computer | Lodic           |                 | Elda.                 | Lodic                 |                       | Elda              |              | Lodic               |                  |
| 對象發電機數          | 火力 9<br>水力 4    | 火力 6<br>水力 17   | 火力 21                 | 火力 11<br>水力 4         | 火力 27<br>水力 19        | 火力 7<br>水力 1      |              | 火力 11<br>水力 4       |                  |
| 送電損失率計算         | 模擬回路            | 模擬回路            | 模擬回路                  | Bmn方式                 | 模擬回路                  | 模擬回路              |              | 模擬回路                |                  |
| 運用 開始           | 1963.10         | 1965.4          | 1965.4                | 1963                  | 1962.4                | 1960.1            | 1964.6       | 1965.5              |                  |
| 將 來 計 劃         | On-line<br>自動給電 | On-line<br>自動給電 | 自動給電<br>(All Digital) | 自動給電<br>(All Digital) | All Digital<br>1967/6 | 自動給電<br>(Digital) | All Digital  | Total<br>Automation | 檢討中              |

Analog 型 計算裝置는 3個 電力會社에 設置되어 있다. 中部電力의 것은 北海道電力의 Hybrid로 連結되어 있는 Analog 型和 같은 型으로 Servomotor 驅動的 自動平衡交流 Bridge 型 連續動作으로 되어 있으며 물의 假想單位  $r$ 를 指定하여 水火力協調方程式을 풀고 있다(但 여기서는 送電損失을 B 係數法으로 計算하고 있다).

東京電力 및 中國電力의 것은 發電所出力을 微小變化시켜 增分配電損失을 決定함과 同時에 協調方程式을 滿足하게끔 Servomotor로 驅動하는 操作을 各 發電所마다 反復하면서 모든 發電所의 出力이 協調方程式을 滿足하도록 하고 있다.

All Digital Type 를 使用하고 있는 것은 四國電力뿐이 있으나 最近 關西電力에서는 새로이 大型 電子計算機를 設置하여 Total System Control 의 一部로서 이 問題를 解決하도록 하고 있다. 이 外에 中部電力 및 中國電力에서도 大型 電子計算機의 購入을 決定하고 給電自動化的 計劃을 推進하고 있으며 가까운 將來에 日本의 電力系統의 大部分이 Digital 計算機를 使用한 自動給電을 實施할 것으로 展望된다.

## 2. 經濟運用計算設備의 運用

表-1 에 表示한 바와 같이 現在 各 電力會社에 設置되어 있는 經濟運用計算裝置의 運用은 大部分이 翌日運用計劃計算에 使用되고 있으나 九州電力에서는 Hybrid 型 計算裝置를 On-line 으로 使用하여 自動給電을 實施하고 있다.

또 中部電力에서는 Analog 型 計算裝置를 使用하여 一部系統에 對한 自動給電을 實施하고 있다.

以下 이것을 運用內容으로 나누어 說明하겠다.

### 2.1 On-line 計算制御

九州電力에서는 1963年 5月부터 Analog 型 經濟運用裝置를 使用하여 自動給電을 實施하여 왔으나 1965年 5月부터는 Digital 計算機를 包含한 Hybrid 型 自動給電裝置로 變更하여 8個 水力發電所(455 Mw) 및 7個 火力發電所(1,385Mw)——以上 全發電設備의 67%에 相當함——를 自動制御하고 있다.

여기에 包含되는 經濟運用關係의 諸設備은 아래 와 같다.

① 給電運用 Digital 計算機(中央給電指令所에 設

置)

- ② 水火電力經濟負荷配分裝置(中央給電指令所에 設置)
- ③ 水火電力併用 周波數自動制御裝置(中央給電指令所에 設置)
- ④ 耳川水系專用 AFC裝置(上椎葉發電所에 設置)
- ⑤ 耳川水系專用 AFC裝置(上椎葉發電所에 設置)
- ⑥ 各 水火電力發電所의 AFC Set 및 自動負荷制御裝置
- ⑦ Telemeter 및 運轉基準值指示裝置 等의 通信裝置

以上の諸裝置中에서 ②~⑦의 各裝置는 圖-2에 보인 바와 같이 結合하여 自動給電 System을 構成하고 있다.

또 ①의 Digital 計算機는 ②~⑦의 自動給電裝置와 結合하여 On-line 및 Off-line의 計算을 實施하고 있다.

다음에 各部分의 計算內容을 살펴 보겠다.

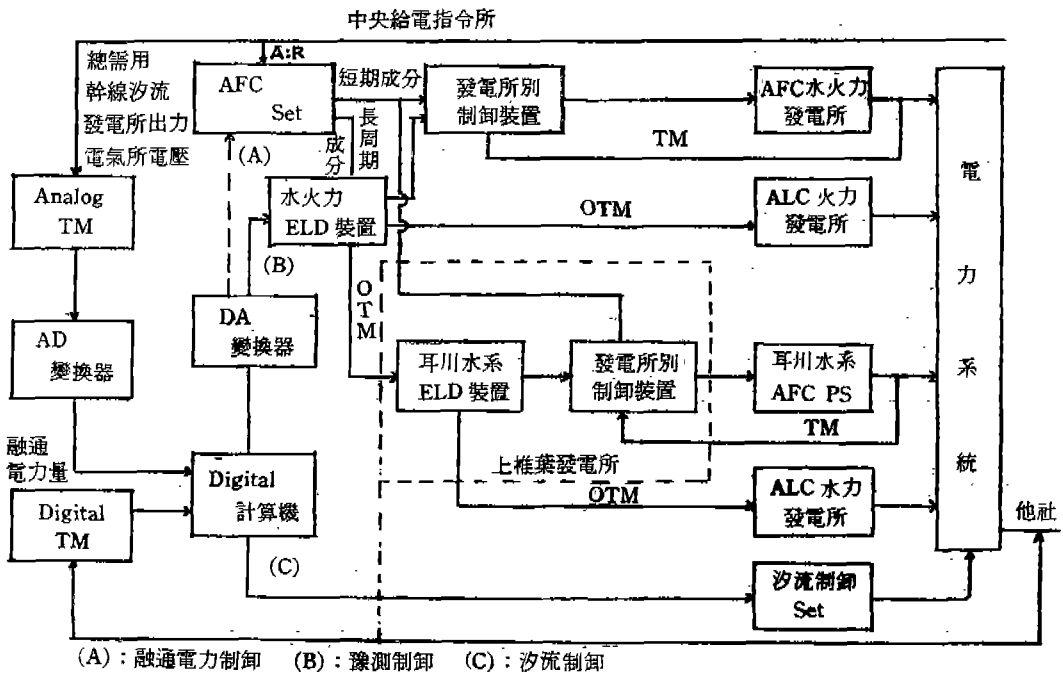
(I) 周波數自動制御와 經濟負荷配分制御 (自動給電)

여기서는 Analog 計算制御裝置를 使用하여 TBC 制御와 經濟負荷配分制御를 連續的으로 實行하고 있다.

AFC 裝置로 檢出된 負荷變動中에서 變動周期 1分 ~10分 程度의 短周期變動成分에 對한 制御信號는 經濟配分計算裝置를 거치지 않고 直接 發電所別 制御裝置에 傳達되어 各 AFC 發電所를 制御한다.

이에 對하여 變動周期 10分 程度 以上の 長周期의 變動에 對한 制御信號는 水火電力負荷配分計算裝置에 傳達되어 거기서 各 發電所의 經濟的 出力을 決定하고 各 發電所에 指令한다.

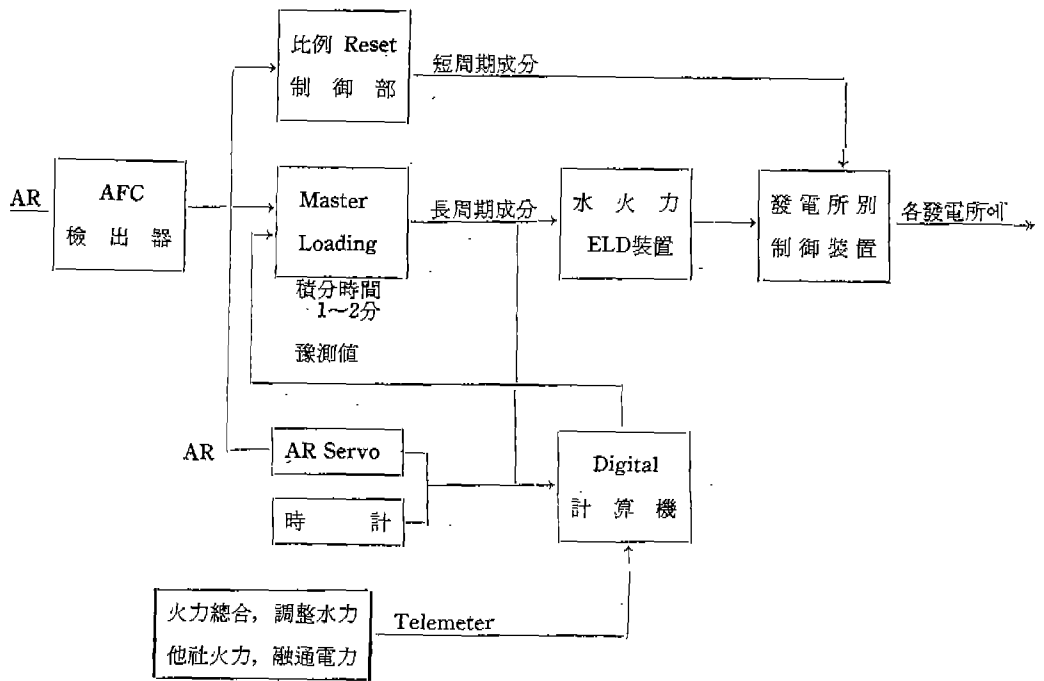
한편 耳川系 水力發電所群에 對하여는 水火電力經濟負荷配分計算裝置로 算出되는 耳川系의  $\lambda \left(1 - \frac{\partial L}{\partial P}\right)$  를 Telemeter 로 上椎葉發電所에 設置된 耳川系 負荷配分計算裝置에 보내어 거기서 各 水力發電所의 經濟的인 出力을 指令하고 있다.



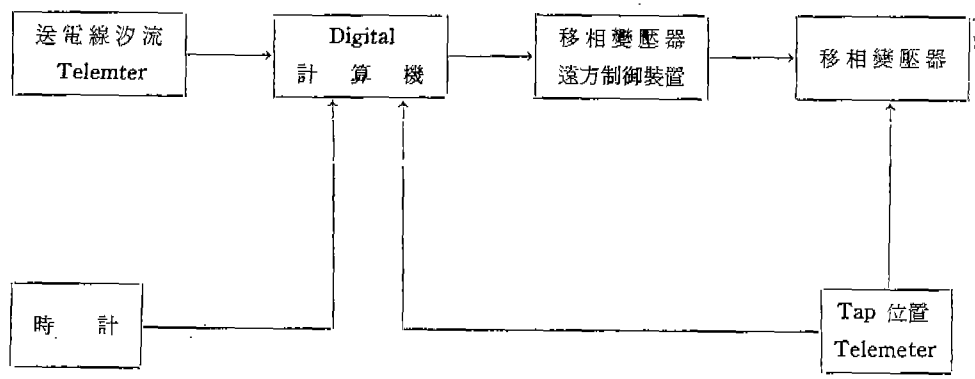
(圖-2) 九州電力會社의 自動給電制御系의 構成

다음에 AFC 發電所에 對하여서는 經濟負荷配分結果와 Telemeter 로 指示되는 實際出力과의 差가 發電所別 制御裝置에 傳達되어 短周期의 變動에 對한 制御信號와 綜合된 信號로써 나가게 하고 있다.

한편 ELD 發電所에 對하여서는 計算值가 直接 各 發電所에 傳해지고 各 發電所에서는 Automatic Load Controller (ALC)에 依하여 出力制御를 實施하고 있다. 이때 經濟負荷配分制御를 받는 各 發電



(圖-3) 予測制御關係の Block 圖



(圖-4) 潮流制御装置 Block 圖

所의 出力은 아래의 水火力協調方程式을 滿足하도록 되어 있다.

$$\frac{dFi}{dGi} = \lambda \left( 1 - \frac{\partial L}{\partial Gi} \right) \dots\dots\dots \text{火力發電所}$$

$$r_j \frac{\partial Qi}{\partial Pj} = \lambda \left( 1 - \frac{\partial L}{\partial Pj} \right) \dots\dots\dots \text{水力發電所}$$

上式에 있어서 물의 單價  $r_j$ 의 값(值) 및 各時刻의 發電機並列運轉臺數는 前日 Off-line 으로 實行되는 翌日運用計劃計算으로 미리 決定하고 있다.

한편 Analog 裝置가 24時間 連續하여 自動給電制御를 하는 동안에 Digital 計算機는 豫測計算을 實施하여 制御系의 Response의 改善을 꾀하고 있다. 곧 Analog Telemeter를 利用하여 水火力의 合計出力과 融通電力 및 地域要求 等을 3分마다 Sampling하여 傾向修正付指數平滑法으로 3分後의 需用變動을 豫測하고 이 豫測值를 水火力經濟負荷配分計算裝置에 주어 가지고 先行制御動作을 開始하도록 하고 있다.

또 여기에서 出力變動이 甚한 水力發電所 및 融通電力에 對하여서는 10秒마다 한번씩 Sampling하여 그 平均値를 使用하도록 하고 있다(圖-3 參照).

#### (2) 融通電力制御

聯接電力會社間의 電力融通計劃을 미리 Digital 計算機를 使用하여 設定해 두고 15分마다 融通實績値를 Digital Telemeter로부터 받아들이어 計劃値와의 사이에 偏差가 생긴 경우 또는 計劃値가 變化한 경우에는 自動的으로 AFC의 融通電力設定器를 操作하도록 하고 있다.

#### (3) 潮流制御

한時間 마다 主要送電線의 潮流를 測定하여 Loop 送電系統의 損失을 最小로 하는 條件을 計算하고 있으며 이 結果를 使用하여 變電所의 移相變壓器의 Tap을 自動的으로 遠方制御하고 있다(圖-4 參照).

#### (4) Data 監視(Logging)

15分마다 總需用, 火力發電所出力 및 主要水力發電所出力을 Telemeter로부터 받아 이것을 한時間마다 集算하여 Kwh를 計算한다. 그리고 10分마다 諸量을 Analog X-Y Recorder로 Plot하고 있다.

#### (5) 系統內事故檢出

大規模의 電源 또는 負荷脫落 事故에 依하여 系統周波數 및 融通電力이 크게 動搖한 경우에는 이 兩

者로부터 事故가 自己會社電力系統內에서 생긴 것인가 어떤가를 檢出하고 自社系統內의 경우에는 警報를 내고 또 事故의 크기를 Mw로 表示한다.

이 計算은 系統周波數가 0.3 Cycle 以上 變化한 경우 또는 中央給電指令所가 停電한 경우에 自動的으로 開始되는 것이며 끊임없이 系統周波數와 融通電力을 測定하여 이로부터 事故의 크기를 計算하고 事故發生時間, 事故의 크기 및 系統周波數를 Type Out하면서 事故의 推移事項을 記錄하고 있다.

이 計算은 1回當 1秒 程度 必要로 하나 自己系統內 事故가 아닐 경우에는 事故의 크기에 따라 1~8回 程度 計算을 反復하고 있다.

以上 (1)~(5)의 各 計算은 모두 On-line 으로 實施하고 있으나 이 外에 다음과 같은 Off-line 計算도 實施하고 있다.

- ① 翌日運用計劃計算
- ② 旬間 및 長期 需給豫想計算
- ③ Data Logging (前日運用實績의 作表)

이러한 On-line 및 Off-line 諸計算에는 表-2에서 보는 바와 같은 優先順位가 指定되고 있어 이것을 割込處理시킴으로써 逐次 計算을 進行하도록 하고 있다.

(表-2) 計算優先順位

| 計算優先順位 | 計算 Program   | 計算 間隔    |
|--------|--------------|----------|
| 1      | 系統內事故檢出計算    | 系統異常時    |
| 2      | 豫測制御計算       | 3分마다     |
| 3      | 融通電力制御計算     | 15分마다    |
| 4      | 潮流制御計算       | 60分마다    |
| 5      | Data Logging | 15分마다    |
| 6      | 翌日豫想計算       | 要求있을 때마다 |
| 7      | 一般技術計算       | 要求있을 때마다 |

이 外에 一般 技術計算도 하고 있으나 이러한 諸 計算 Program은 모두 磁氣 Drum에 記憶해 놓고 Monitor Program을 使用하여 所要 Program을 磁氣 Core에 끄집어내어 計算을 實施하고 있다.

現在 Digital 計算機가 On-line으로 使用되고 있는 時間은 2~3時間에 不過하지만 가까운 將來에 다음과 같은 系統制御에 利用할 것을 計劃하고 있다.

- ① 電壓制御計算: 系統의 適正한 電壓分布維持

및 合理的인 無効電力潮流制御

② 運用信賴度計算 : Supervision 指示 및 Telemeter로부터 系統의 負荷狀態 計算

### 2.2 Off-line 計算制御

各 電力會社에 設備되어 있는 經濟運用計算裝置의 運用의 現狀을 表-3에 表示한다. 이中 Off-line 計算制御를 實施하고 있는 것은 2個 會社이다.

Hybrid 型의 計算裝置를 設置하고 있는 關西電力에서는 每日 翌日運用計劃計算을 實施하고 當日 運用에 있어서는 負荷의 크기가 豫想值과 크게 달라졌을 때에 限하여 當日 補正計算을 實施하고 있다.

이 計算은 水力發電所群의 運用은 固定된채로 두고 全火力分擔負荷만을 補正하여 이것을 Analog 部에 넣어 各 火力發電機의 經濟的出力을 再計算하고 있으므로 計算時間은 거의 所要되지 않는다. 또 이 計算結果는 中央給電指令員이 OTM을 使用하여 各 火力發電所에 指令하고 있다.

이에 對하여 Analog 型 計算裝置를 設置하고 있는 中國電力에서는 每日 翌日運用計劃計算을 實施함과 同時에 火力發電所群에 對하여는 Off-line 으로 經濟負荷配分計算을 15分마다 實施하여 OTM로 各 發電所에 指令하고 있다.

(表-3) 經濟運用計算設備運用의 現狀

| 電力會社                | 北海道                           | 東北                    | 關西                              | 九州         | 四國           | 東京     | 中國         | 中部         |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------|--------------|--------|------------|------------|
| Type                | Hybrid                        | Hybrid                | Hybrid                          | Hybrid     | Digital      | Analog | Analog     | Analog     |
| 瞬間運用法               | ( $\gamma$ 法)                 |                       | 協調方程式                           | $\gamma$ 法 |              |        | 協調方程式      | $\gamma$ 法 |
| 計算間隔                |                               |                       |                                 | 連續 On-line |              |        | 15分마다      | 連續 On-line |
| 翌日運算法 (Off-line 計算) | $\gamma$ 法                    | 平均 Gradient法          | $\rho$ 平均化法                     | $\gamma$ 法 | 平均 Gradient法 | 協調方程式法 | $\gamma$ 法 | $\gamma$ 法 |
| 計算時間                | 1~2時間                         | 約 1時間                 | 0.5 時間                          | 2~2.5 時間   | 約 40分        | 20~30分 | 約 2時間      | 約 20分      |
| 計算裝置使用              | 每日<br>ELD-1 時間<br>技術計算-8.1 時間 | 每日<br>ELD-午前<br>其他-午後 | 每日<br>ELD-4.6 時間<br>技術計算-2.9 時間 | 連續         | 每日           | 每日     | 每日         | 每日         |
| 裝置의 保守點檢            | 保守員 駐在                        | 週 1 回                 | 週 1 回                           | 週 1 回      |              |        |            |            |

### 2.3 Off-line 計算

經濟運用計算裝置를 設置하고 있는 各 電力會社에 있어서는 每日 翌日運用計劃計算을 實施하고 있으며 計算의 對象發電所數 및 經濟負荷配分計算法 등의 概要는 表-3에 表示한 바와 같다.

經濟負荷配分計算法으로서는 水力變落差特性을 無視하여 日使用水量條件 및 需給Balance 條件을 滿足시키면서 最適負荷配分을 決定하는 Gamma 法

( $\gamma$ 法) 또는  $\rho$ 平均化法을 많이 採用하고 있다.

이 外에 水力設備의 關係로부터 水力變落差特性과 貯水量制限 등을 嚴密히 考慮하지 않으면 안될 경우에는 平均 Gradient 法이 採用되고 있다. 한편 火力發電機間의 負荷配分에서는 모두 等分法을 適用하고 있다.

이들 計算은 하루 24時間의 各 時間마다의 運用을 決定하는데 Type 作表에 要하는 時間까지 包含하여 20~150分 程度를 必要로 하고 있다. 經濟負

|  |   |         |   |    |            |    |    |    |         |    |                     |    |      |
|--|---|---------|---|----|------------|----|----|----|---------|----|---------------------|----|------|
|  | 7 | 8       | 9 | 10 | 11         | 12 | 13 | 14 | 15      | 16 | 17                  | 18 | → 時刻 |
|  |   | Data 收集 |   |    |            |    |    |    |         |    |                     |    |      |
|  |   |         |   |    | Digital 計算 |    |    |    |         |    |                     |    |      |
|  |   |         |   |    |            |    |    |    | Data 收集 |    |                     |    |      |
|  |   |         |   |    |            |    |    |    |         |    | Hybrid Computer로 計算 |    |      |

(圖-5) 運用計劃計算 Schedule 의 一例

(表-4) Hybrid 型 計算裝置의 使用實績例

| 項 目         | A 電力會社    |          | B 電力會社    |
|-------------|-----------|----------|-----------|
|             | Digital 部 | Analog 部 | Digital 部 |
| 翌日豫想計算 (時間) | 2.26      | 0.57     | 2.38      |
| 當日補正計算 (時間) | 0.24      | 11.38    | —         |
| 運用關係諸計算(時間) | 2.15      | 0.31     | 0.94      |
| 一般技術計算 (時間) | 2.89      | —        | 6.30      |
| 計算時間小計 (時間) | 7.54      | 12.26    | 9.62      |
| 點 檢 (時間)    | 2.92      | 2.55     | —         |
| 修 理 (時間)    | 1.02      | 0.84     | 0.41      |
| 點檢修理時間 (時間) | 3.94      | 3.39     | 0.41      |

荷配分計劃計算을 實施하기 以前에 이들 計算에 要하는 諸 Data 를 作成할 必要가 있으며 이 計算用으로 Digital 計算機가 크게 利用되고 있다.

圖-5 는 實際로 利用하고 있는 運用計劃計算의 Schedule 의 一例를 表示한 것이며 表-4 는 Hybrid 型 計算裝置의 使用實績 (1個年 平均 1日當의 時間數)을 表示한 것이다.

以上과 같이 Digital 計算機를 中心으로 많은 裝置가 每日 使用되고 있기 때문에 이들의 保守點檢에도 相當한 時間이 割當되고 있다.

## 謹賀新年

1968 年 元旦

社 團 大韓電氣協會  
法 人

會 長 朴英俊  
副 會 長 張炳贊  
" 薛卿東  
" 禹亨曠  
" 吳鉉禕  
事務局長 洪鍾翼  
幹 事 太仁善