

第二次 電源開發 五個年計劃에 있어서의 電力系統問題

報 告

16-1-1

Ⅱ. 系統制御에 있어서의 몇가지 問題點

(Power System Problems on the Second 5-year Developing Plan for Electrical Energy)

(Ⅱ. Some Problems on the System Control)

宋 吉 永*

(Kil- yeong Song)

1. 緒 言

前述한바와 같이 (1)韓國電力系統은 第2次電源開發計劃의 推進으로 5年後에는 急増하는 電力需要에 充分히 應할 수 있는 供給力을 確保함과 同時, 어느程度의 豫備力을 가질것을 目標로 하고 있다. 이와 같은 電源開發計劃으로 어느程度 需給의 均衡이 安定됨에 따라 系統運用의 焦點은 電氣의 質, 곧 Service quality의 向上과 系統의 經濟的 運用에 指向되어야 한다는 것은 再言할 必要가 없을 것이다.

이와 같이 複雜, 大規模化되어가는 電力系統을 經濟的으로, 또한 安定하게 運用하는 한편 社會의 要請에 應하여 보다 高度한 Service를 維持해 나가기 爲하여서는 系統制御의 自動化가 必然的으로 要求될 것이다.

이제까지 採用되어온 系統制御의 推移를 살펴보면 먼저 第一段階로써 自動周波數制御(AFC)가 採擇되었고 이어 第二段階로써 經濟負荷配分(ELD)이 實施되었으며, 現在는 이 兩者의 協調에 의한 自動給電이 實現되고 있는 段階에 이르고 있다.

또 今後의 總合的인 系統運用 自動化의 一環으로서, 電壓無効電力制御問題까지를 여기에 包含시키겠음 現在 各國에서 이 方面의 研究가 銳意推進되고 있다.

우리나라에 있어서도 意欲的인 電源開發事業의 遂行에 따라, 가까운 將來 當然히 이와 같은 系統制御問題가 重要한 問題로 될출 必는 拜이다. 그러나 上述한바와 같이 系統制御의 發展은 AFC로부터 ELD로, 다시 電壓無効電力制御를 包含시킨 總合的인 自動化에로 推進되어 왔지만, 이제부터 이러한 問題를 着手하게 되는 우리나라로서는, 반드시 이러한 發展過程을 그대로 踏襲한 것 없이 오히려 現在까지 쌓여진 여러가지 經驗을 받아들여, 한층더 合理的인 系統制御를 期할수 있는 좋은 機會에

* 韓國電力株式會社技術部, 正會員.

Dept. of Engineering, Korca Electrical Co.(M)

直面하고 있다는 것을 살피야 할 것이다.

本文에서는 이러한 觀點에서 가까운 將來 우리나라 系統이 當面하여야 할 系統制御에 關한 몇가지 問題를 考察하고자 한다.

但 個個의 問題에 關한 具體的인 解析 또는 檢討에 關하여는 다음 機會에 미루기로하고, 于先 여기서는 當面問題로서 對處하지 않으면 안될 自動周波數制御問題 및 系統의 經濟運用問題만에 限定하여, 이것을 우리나라의 現狀과 關連시켜 概說하고, 이들의 自動化에 關한 基本的인 問題를 簡單히 적어 보겠다.

2. 自動周波數制御問題

2-1 電力系統運用의 現狀

우리나라 系統은 60 카이클 系統이며, 1966年 12月 現在의 系統容量은 76萬 9千MW이다. 現在, 水, 火力構成比는 28:72이지만, 今後火力를 中心으로 하는 電源開發의 配進에 따라, 火力比重이 더욱더 높아져, 第2次開發計劃遂行時(1971年)에는 系統容量이 2,816Mw, 同水 火力構成比는 19:81로 될것이 豫想되고 있다. 同時에 經濟開發 5個年計劃의 推進에 따라 大動力需要는 增大하여, 이것이 차지하는 需要構成에 있어서의 構成比도 1966年の 50.8%로부터 1971년에는 61.6%로 上昇 될것으로 想定되고 있다.

특히 이中에서도 製鋼製鐵業, 肥料工業 등에 있어서의 生産設備의 大型化, 生産速度의 高速化 등으로 한층더 負荷變動이 激化될 것이 豫想됨으로서, 周波數의 一定維持問題가 더욱더 重要하게 될것이다.

이와 같은 電力系統內의 負荷變動에 對하여, 發電力을 調整하면서 周波數를 規定值로 維持하기 爲하여서는, 一般으로 아래와 같은 方法이 生覺되고 있다.

- (1) 前日豫想에 의한 베이스(Base)調整
- (2) 給電指令에 의한 補助調整
- (3) 周波數制御發電所에 있어서의 自動制御
- (4) 調速機運轉에 의한 周波數制御

우리 나라에서는從來까지 주로 (1), (2)項의 給電司令員에 依한 베이스 調整 및 補助의인 手動調整에 의하여, 規定周波數(600)로부터의 偏差를 $\pm 0.4 \sim \pm 0.2c/s$ 를 目標로 周波數調整을 擔當하고 왔었다.

1966年에는 完全施設 까지는 이르지 못하였지만, 우선 華川水力發電機 2臺分の 自動周波數調整裝置 및 給電司令室에 指令裝置를 設置하여 許容偏差 $\pm 0.1c/s$ 의 調整을 目標로하여 어느程度의 AFC를 實施하고 있는 現狀이다.⁽²⁾

한편 前述한바와 같이, 系統容量의 增加 및 大動力需要의 構成비가 높아짐에 따라, 負荷變動의 크기가 增大됨으로, 더욱더 周波數調整에 要하는 所要調整容量이 增加하게 될 것이다. 勿論 이와 같은 展望에서 본다면, 現在와 같은 幸川 1個所의 調整만으로는 充分할 수 없으며, 앞으로는 數個所 以上の 調整用發電所를 갖추어 同時에 制御 할것이 必要하게 될 것이다. 特히 우리나라의 現狀으로서는, 調整能力이라는 點에서 上記華川發電所以外에 믿을 만한 水力發電所가 없기때문에, 將來의 AFC는 火力發電所에 依存하지 않을 수 없다는 것이 하나의 特徵이 될 것이다.

다만 水力은 火力에 比較하여 원천 出力變動에 即應性이 있기때문에, 그 特性을 살리 比較的 短期의 負荷變動成分吸收에, 特히 朝夕의 負荷變動이 甚한 時間帶에 있어서의 活用에 留意하여야 할 것이다.

그런데 發電所에는, 例를 들면 水力發電所에 있어서는 Surge Tank의 水位變動, 低負荷時의 機械的 振動, 또 火力發電所에 있어서는 Drum의 水位變動, 爐內壓의 變動, 溫度變化等에 起因하여 일어나는 出力變化幅, 또는 出力變動速度等에 許容限界가 있기때문에 無制限으로 이것들을 制御에 參加시킬수 없는 경우가 많다. 그러므로 特히 火力發電所에서는 AFC를 實施할 것을 前提로 하여, 可及의 早速히 그 負荷應答特性을 調査하여, 正確한 出力變動幅의 限界 및 變化速度의 限界를 把握한 必要가 있을 것이다.

이외에도 火力 Turbin의 調速機 特性을 살펴볼 必要가 있을 것이다. 곧 火力 Turbin의 調速機는 그 特性上 各出力點에 있어서의 調定率이 다르기 때문에, 平均調定率로서는 周波數變化에 對한 出力變動의 크기를 決定하기가 困難함으로 各出力點에 있어서의 傾斜調定率을 把握해볼 必要가 있을 것이다.

2-2 系統負荷變動特性

다음에 周波數調整과 關連하여 系統負荷變動特性을 적어보겠다. 곧 電力系統內에서 負荷의 變動이 있으면, 이것에 起因해서 周波數가 變動될 것이다. 따라서 周波數를 一定한 許容範圍內에 維持하기 爲하여서는, 먼저 이 負

荷變動의 實態와 이에따른 周波數變動의 實態를 把握한 必要가 있는 것이다.

一般으로 周波數變動을 이끄는 負荷變動은 다음의 몇가지로 大別할 수 있을 것이다.

- (1) 日負荷曲線에서 보는 바와 같은 1日中の 比較的 큰 變動
- (2) 日負荷曲線보다 若干적은 不規則의인 負荷變動
- (3) 周波數制御의 直接對象이 되는 比較的短時間에 變번히 일어나는 負荷變動

이중 (1), (2)項은 前節에서 본 前日豫想에 의한 베이스 調整 및 給電指令에 의한 補助調整으로 吸收可能한 것이며, 將來에는 經濟負荷配分裝置를 自動周波數制御裝置와 結付시켜, 經濟配分の 出力調整으로 處理시킬 必要가 있을 것이다.

(3) 項은 所謂 自動周波數制御의 對象이 되는 것으로, 이 部分의 負荷變動의 性質에 對하여서는 詳細히 解析한 必要가 있을 것이며, 우리나라에서도 今後 適當한 時期에 實測, 調査가 있어야 할 것이다.

앞서 筆者가 實施한 日本의 電源開發超高壓系統 및 東京電力 154kV系統에 있어서의 實測結果에 의하면⁽⁴⁾ 負荷變動 및 周波數變動은, 大體로 6分以下의 變動周期範圍內에 있다는 야래식 처럼 그 스펙트럼 密度 $S(\omega)$ 가 ω 의 周波의 2乘에 逆比例하고 있는 것이 確認되었다.

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^2}$$

但 A—定數

ω —變動周期

따라서 極히 빠른 變動周期分은 거의 包含되지 않고 周期가 긴것 일수록 많이 包含되고 있었다. 이 關係는 하로라는 時間帶에서 急激히 變化하는 朝夕變動時와 晝間休息時를 除外하고는 大體로 같은 傾向을 보이고 있었다.

한편 周波數變動의 標準偏差(σ)에 關하여서는 3分 정도以下의 短周期成分에서는

$$\sigma = 0.11 \sim 0.12\% / c/s$$

$$\sigma = 0.055 \sim 0.06\% / c/s$$

程度이며, 1日中の 各時間帶에 있어서도 大體로 같은 크기였었다. 따라서 定常運轉時의 周波數의 變化幅은 $\pm 2\sigma$ 로 보고 $\pm 0.11 \sim 0.12c/s$ 로 生覺되었다.

參考로 表 1에 實測한 系統諸量의 標準偏差와 變動幅의 크기를 실었다.

以上の 스펙트럼密度, 周波數의 標準偏差 및 系統特性定數($K = \Delta p / \Delta f$)로부터 系統負荷變動의 概略的인 크기가 推定되기때문에, 이것으로 부터 다음에 보이는 바와 같은 制御分擔 및 制御容量의 關係를 살펴볼 수가 있을 것이다.

表 1. 測定值의 標準偏差와 變動幅

發·變電所名	測定項目	變動率(%)		標準偏差(%)	
		平均	幅	平均	幅
秋元發電所 (東京電力 kk)	電壓	2.0	0.8 ~ 3.0	0.45	0.40~0.63
		8.0	3.0 ~ 15.0	1.40	1.3 ~ 4.4
	無効電力	9.0	5.0 ~ 13.0	1.50	0.95~3.7
		0.55	0.45~0.7	0.10	0.08~0.18
京北發電所 (東京電力 kk)	電壓	2.0	1.0 ~ 3.0	0.37	0.28~0.92
		2.3	1.5 ~ 3.0	0.40	0.27~0.7
	無効電力	0.45	0.3 ~ 0.75	0.75	0.07~0.30
		0.55	0.45~0.7	0.10	0.95~3.7
品川發電所 (東京電力 kk)	電壓	2.5	1.0 ~ 4.3	0.5	0.1 ~ 1.0
		2.5	1.2 ~ 2.8	0.5	0.2 ~ 0.7
	無効電力	5.0	1.4 ~ 8.8	1.0	0.3 ~ 2.0
		0.55	0.3 ~ 0.78	0.10	0.05~0.2
田子倉發電所 (電源開發 kk)	電壓	0.40	0.35~0.48	0.08	0.06~0.09
		10.00	5.00~16.00	2.5	1.8 ~ 4.0
	無効電力	10.00	7.00~16.00	2.5	1.7 ~ 4.0
		0.50	0.4 ~ 0.58	0.10	0.08~0.11
南川越發電所 (電源開發 kk)	電壓	1.1	0.9 ~ 1.5	0.19	0.17~0.27
		9.0	5.5 ~ 16.00	1.6	1.3 ~ 2.4
	無効電力	4.0	1.8 ~ 5.0	0.6	0.3 ~ 1.0
		0.50	0.4 ~ 0.58	0.10	0.08~0.11

(注) (1) 電力無効電力은 發變電所單機容量에 對한 %值
(2) 結果는 모두 自動電壓調整器動作時의 것이다.

2-3 周波數制御分擔과 制御容量

系統負荷變動特性과 周波數制御發電所의 諸特性이 밝혀지면, 다음에 AFC 裝置를 設置하여 이 負荷變動을 어떻게 分擔 制御 할것인가가 問題될 것이다. 먼저 負荷變動特性을 圖示하면 그림 1과 같이 되는데, 이에 對한 制御分擔을 다음과 같이 定하는 것이 適當할 것으로 生覺되고 있다.^{(5) (6)}

(1) 大略 2分以下の 極히 빠른 周期의 負荷變動에 對하여서는 火力發電所 및 水力發電所의 調速機로 吸收시키도록함.

(2) 2分~15分 정도의 약간 긴 周期의 負荷變動에 對하여서는, AFC 裝置로써 制御發電所에 吸收시킴. 이 部分이 所謂 말하는 AFC 發電所의 分擔이 되는 것인데 制御容量이 充分하지 못할때에는 몇군데 發電所에서 同時 制御할 必要가 있을 것이다.

(3) 15分以上的인 긴 周期의 負荷變動에 對하여서는 給電調整으로 吸收시키도록함.

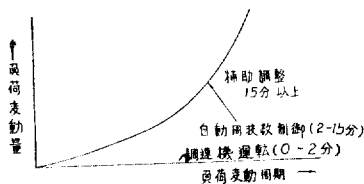


그림 1. 周波數制御分擔

以上이 制御分擔의 概要이지만, AFC 發電所의 出力變動에 여러가지 制約이 있기때문에, 특히 Δf 偏差를 0.1 c/s 以內에 維持하기 爲하여서는 (1)項의 調速機에 의한 制御分擔을 더욱더 重視할 必要가 있을 것이다. 다음 周波數 變動幅을 $\pm 0.1c/s$ 에 制御하기 爲한 周波數制御發電所所要容量은 大略 系統容量의 5~10%정도가 될 것이라 는 것은 이미 몇가지 算出結果로부터 認定되고 있다.⁽⁶⁾

따라서 앞으로 우리나라 系統에 있어서도 이 程度의 所要制御容量을 가질것이 必要하겠지만, 豫想되는 여러 가지 條件에 따라 制御容量을 充分히 確保할것이 困難視 됨으로, 調速機運轉 및 給電調整을 充分히 活用함으로써, 于先 5% 정도를 目標로 하여도 無妨하리라고 짐작되는 바이다.

2-4 自動周波數制御實施에 關하여

周波數制御偏差는 需要家에 對한 許-비스上과 合理的인 系統運用이 可能하겠음, 될수 있는대로 작게 하는 것이 必要한 것이다. 現在 世界各國의 大勢로서도 이 周波數偏差의 許容範圍를 0.1c/s 以內에 定하고 있기때문에, 앞으로의 制御目標을 0.1c/s에, 또 時刻偏差도 ± 10 秒/日 以內에 두도록 하여야 할 것이다.

上記制御目標에 對한 系統의 現狀으로서는 需給의 餘裕가 完全치 못한 實情을 考慮하여 아래와 같은 몇가지 段階를 거쳐 漸次 AFC 制御機能을 增進시키도록 함이 좋을 것이다.

(1) 水, 火力發電所의 調速機運轉

水力 및 火力發電所의 發電機는 現在 一部調速機運轉을 實施中이나, 이것을 擴大하여 앞으로는 大容量發電機는 原則으로써 全機調速機運轉을 實施하도록 하여야 할 것이다.

(2) 運轉基準出力指令裝置에 의한 給電調整指令의 自動化

現在 手動調整으로 實行中인 給電指令에 의한 補助調整을 한층더 迅速하게 하기 爲하여, 中央給電指令所에 基準出力指令裝置를 設置함으로써 給電調整發電所에 直接出力指令을 指示하여 給電調整指令의 自動化를 實施하도록 하여야 할 것이다.

(3) 自動周波數制御裝置의 設置

以上 調速機運轉 및 給電調整으로 어느정도 周波數制御가 可能해지지만, 한층더 그 機能을 向上시키기 爲하여 本格的인 自動周波數制御裝置를 設置하여야 할 것이다.

于先設置된 華川發電所에 이어 火力發電所(釜山, 馬山 寧越……)가 對象이 될것이나, 이點에 있어서는 將來設置 될 ELD 裝置와의 制御分擔等에 關한 基礎的인 檢討가 있어야 할 것이다.

(4) 運轉豫備力の 確保

今後的인 電源開發計劃과 直接 關連되는 것이지만 天候

의 急變, 事故, 其他狀況에 對應하여 周波數制御를 完全하게 實行하기 爲하여 어느정도 運轉豫備力을 保有하도록 留意한 必要가 있을 것이다.

3. 系統의 經濟運用 問題

3-1 經濟運用的 概要

電力系統의 經濟運用이라는 概念을 廣義로 解釋하면 “電力系統의 運用에 依하여 經濟의 效果를 거둘수 있는 方法”은 모두 包含되었으나, 本文에 있어서는 “水火力發電所의 Combination 및 負荷配分을 適切히 實施함으로써 火力發電所에 있어서의 總燃費料를 最小로 하는 運用”이라고 限定하기로 한다.

다음에 이는 經濟運用을 크게 分類하면 表 2에 보이는 바와 같이 瞬時的(Static)인 運用과 期間的(Dynamic)인 運用으로 나눌수 있을 것이다. 前者는 發電機의 負荷配分과 같이 時間의 흐름에 거의 無關係로, 그때 그때의 必要에 따라 發電機出力을 經濟的으로 配分하는 運用이며, 後者は 貯水池의 運用과 같이 어느期間(時間의 흐름)內에서 貯水池를 어떻게 利用하면 가장 經濟的인가 하는 것을 生覺하는 運用이다.

表 2. 經濟運用的 分類

	項 目	效 果
瞬時的運用 (Static)	火力發電所의 經濟的 負荷配分	燃料費 輕減
	電力潮流의 調整	送電損 //
	電壓無効電力의 調整	// //
	水力發電所의 高能率 運轉	kw. kwh의 輕減
	變壓器의 Bank 運用	送電損 輕減
	廣域經濟運用	諸經費輕減
期間的運用 (Dynamic)	連接式水系에 있어서의 各發電所運用	kw. kwh增加
	貯水池式水力의 長短期運用	kw. kwh增加 및 諸經費減
	火力發電機의 起動停止	燃料費輕減
	廣域經濟運用	諸經費輕減
	火力補修計劃	諸經費輕減
	揚水式水力의 運用	燃料費輕減

그런데 韓國電力系統은 現在(1966.12) 水, 火力比가 28:72이다. 앞으로의 傾向으로서는 需要의 急增과 開發地點의 關係로부터, 그림 2에 보는 바와 같이 火力의 比率이 해가 갈수록 크게 되겠지만, 尖頭負荷處理能力等에 着目한다면 今後에 있어서도 水力이 차지하는 效果가 크게 減少되리라고는 不無 없을 것이다. 또 水力發電所라고 하여도 ELD의 對象이 될 大部分의 發電所는 그림 3

에 보인바와 같이 北漢江의 同一水系上에 모여 있다는 特徵이었다. 다만 이것들은 모두 比較的 小容量의 것이기 때문에 運用上의 諸制限, 例를들면 有効貯水量限界, 使用水量限界等의 여러가지 問題를 內包하고 있다.

이러한 觀點에서 앞으로 우리나라 系統의 經濟運用問題를 다룰때는 水火力併用系統으로서 取扱할 必要가 있다고 볼 수 있을 것이다. 그런데 이와 같은 水力系가 차지하는 效果를 經濟運用問題에 包含시켜 생각할 경우에는, 單純히 火力만으로서 이루어지는 系統이 瞬時的 經濟的 負荷配分, 곧 瞬時經濟運用을 論하면 充分한데 對하여, 年間的 出水 및 負荷의 變動을 對象으로 한 經濟運用(以下長期運用이라고 부름)으로부터 시작 하여, 旬日 내지 日間的 經濟運用(以下短期運用이라고 부름)이 前提가 되어 비로소 瞬時經濟運用이 決定되게 될 것이다.

近年 各國에 있어서는 이 問題에 關한 研究를 強力히 推進시켜, 問題의 解析 方法 및 實系統을 最經濟的으로 運用하기 爲한 計算制御裝置의 開發이 進展되어 이미 여러 電力會社에서는 이러한 裝置를 設置하여 運用に 큰 實績을 올리고 있는 것이다. (10) (14)

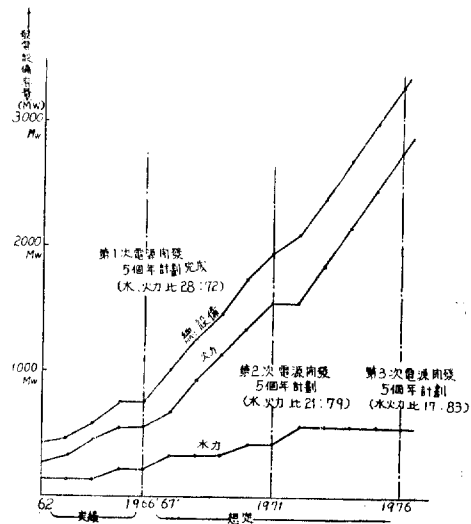


그림 2. 長期電源開發計劃圖

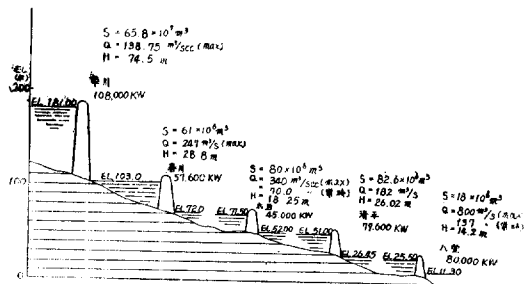


그림 3. 北漢江河川縱斷圖

本節에서는 먼저 簡單히 現在運用에 들어가 있는 經濟運用裝置의 概要 및 運用의 現狀을 살핀 다음, 將來 우리나라에서 이 問題를 다루게 될 때 當面한 몇가지 問題點을 살펴 보기로 하겠다.

3-2. 經濟運用計算裝置

前述한 바와 같이 韓國電力系統에서는 今後에 있어서도 水火力の 構成比가 火力을 中心으로 높아져가는 傾向이 있지만, 水力發電所의 大部分이 北漢江의 同一水系에 물려있기 때문에, 이것을 包含시켜 水火力併用系統의 運用問題로써 取扱할 必要가 있을 것으로 生覺된다. 한편 個個의 發電所容量은 比較的 적기 때문에 具體的으로 經濟運用計算을 實行할 때에는 많은 運用制限을 考慮하게 되어 複雜한 計算이 要求될 것이다.

또 此外에도 今後需要點에 近接하여 火力發電所가 建設되어가면 어느정도 緩和되겠지만, 現在 生覺되는 系統構成으로는 送電線이 相當히 넓은 範圍에 펼쳐지고 있고,

또 이들 幹線潮流가 相當量에 達할것이 豫想되고 있기 때문에 送電損失의 영향도 無視할 수 없을 것이다.⁽¹⁾ 그러므로 將來設置될 經濟運用裝置는 送電損失을 包含한 水火力併用系統用의 것을 考慮하여야 할 것이다.

周知되는 바와 같이 經濟運用의 歷史的인 發展은 主로 火力을 中心으로하는 經濟運用問題로써 美國에서 開發實用化 되어 온 것이지만, 上述한 水火力 併用系統에 關한 經濟運用理論의 開發에 對하여서는 特히 水力을 많이 包含한 系統構成의 特徵에 의하여 日本에서 強力히 推進되어 왔다고 할수 있을 것이다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾

다음 表 3은 現在開發되어 있는 水火力系統의 經濟運用計算法의 概要를 모인 것이다.⁽⁷⁾ 또한 이에 따른 經濟運用裝置도 表 4에 보는 바와 같이 日本에서는 現在 Digital 計算機를 包含한 Hybrid Type 가 많이 採用되고 있으나, 將來의 方向으로서는 Digital 計算機를 中心으로한 自動給電의 實現을 指向하고 있다고 하겠다.⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾

表 3. 水火力系統의 經濟運用計算法

計算法名稱	方法의 概要	特 徵
Gradient 法	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 考察期間中の 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 작아 될 때까지 되풀이 한다 ㉢ 火力間負荷配分은 等增分費法에 의한다 ㉣ 運用制限에 違反되는 量은 獨立變數로 換算해서 處理한다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 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 總燃料費最少가 아니고 極小을 나타낸다
水火力協調方程式法 (r 法) 落差變動을 無視할 경우	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 水火力協調方程式이 各時刻에서 成立할 수 있도록, λ, r 을 決定한다 ㉡ 火力間負荷配分은 等增分費法에 의한다 ㉢ 各水力의 各時間帶使用水量을 r 의 時間帶平均値의 偏差에 比例해서 修正한다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 水力發電所數가 많아져도 適用可能 ㉡ 計算이 간단하다 ㉢ 運用制限에 관계되는 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	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 火力間負荷配分은 等增分費法 ㉡ 第一時間帶의 Gamma(r)를 여러가지로 변경하여, 貯水量端點을 滿足케 하고, 그때의 各時間帶의 r 을 決定한다 ㉢ 水力使用水量은 協調方程式의 解로부터 決定한다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 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 행한다 ㉡ 물의 單價를 導入하여 그性質을 利用하고 있다
Linear Programming 法	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 諸特性을 一次式으로 나타내고, Linear programming 問題로써 푼다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ Digital 計算의 Linear program 을 그대로 利用할 수 있다
Dynamic programming 法	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 最適性의 原理를 적용하여, 그 時間帶의 最適化計算에還元하고, i 時點의 1 貯水量으로부터 考察期間未指定貯水量에 달하는 最適貯水量曲線을 決定한다 各時點에서의 各貯水量에 대해서 上記 計算을 한다 ㉡ 指定된 貯水量端點條件을 滿足하는 解를 찾는다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 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 적합하다
最大原理法	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ Pontryagin 의 Maximum principle 의 基本式을 적용한다 	<ul style="list-style-type: none"> ㉠ 적은 memory 로써 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 많은 때는 有力하다

表 4. 經濟運用計算設備・運用의 現狀

電力會社名	北海道	東北	關西	七州	四國	東京	中國	中部
計算裝置型式	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Digital	Analog	Analog	Analog
計 算 對 象	水力 7(775MW) 水力 2(91MW)	水力 6(1425MW) 水力 17(790MW) 2215MW(80%)	水力 27(4890MW) 水力 19(1000MW)	水力 7(1385MW) 水力 8(455MW) 1840MW(67%)	水力 4() 水力 5()	水力 21() 水力 一	水力 7() 協調方程式	水力 11(1987MW) 水力 4(3099MW)
計 算 方 法	水力協調方程式 (7指定)	under Investigation	off-line 計算 OTM에 의 指令	連 續 On-line 制御	協調方程式 (7指定)	協調方程式	協調方程式 15分마다 off-line 計算 OTM 指令	水力協調方程式 (7指定) 斷 續 連 續 On-line 制御
計 算 時 間	under Investigation	約 1 時間 (Type 時間別)	約 0.5 時間 (Type 時間別)	約 2 時間 ~2.5 時間 (Type 時間包含)	約 40 分 5 分(簡易計算) (Type 時間包含)	約 20~30 分	約 2 時間	約 22 分
計 算 項 目	水力協調方程式 (7法) 約 1 時間 or-約 2 時間 (Type 時間包含) 這列水承發電所群 의 運用에 上 記 計算 平 均 로 ELD 計算을 行 算	平均 Gradient 法 約 1 時間 (Type 時間別)	水力協調方程式 (平均化法) 約 0.5 時間 (Type 時間別)	水力協調方程式 (7法) 約 2 時間 ~2.5 時間 (Type 時間包含)	平均 Gradient 法 約 40 分 5 分(簡易計算) (Type 時間包含)	協調方程式	水力協調方程式 (7法)	水力協調方程式 (7法) 約 22 分
注 意 事 項								這列水承 水力 12(264MW)
計算裝置使用實績	每 日 ELD關係計算2.6 H/day 負荷發測計算 1 hour/day	每 日 ELD關係計算：午前 一般技術計算：午後 夜間은 使用 없음 週一回實施	每 日 ELD關係計算4.6 一般技術計算2.9 時間 時間 (年平均値) 週一回實施	連 續	每 日	每 日	每 日	每 日
Dig. Com. 使用情況	每 日 技術計算 8.1 hour/day (年平均値) 補修員常駐							
裝置의 保守點檢								

on-line()
經 濟 運 用 計 算
平 均 運 用 計 算

表 5. 經濟運用設備의 現況

電力會社名	北 海 道	東 北	東 京	中 部
AFC裝置 型式	Analog	Analog	Analog	Analog
AFC運轉發電所數	水力 2 火力 2	水力 7 火力 3	水力 8 火力 6	水力 5 火力 5
經濟運用裝置 型式	Hybrid	Hybrid	Analog	Analog
Digital 計算機			—	—
Model	TOSBAC 3129	HIPAC 103		
Memory(Words)	5,000	8,192		
磁氣 Core	—	2,048		
磁氣 Drum	5,000	6,144		
Analog 計算機	Lodic		ELDA	Lodic
火力單位(自動)	9	6	21	11
水力單位	4(自動)	17	0	4(自動)
Program 發電機單位	11	18	11	3
比例負荷單位	13	17	36	
特殊負荷單位	5	2	1	1(總需用)
融通單位	0	3		
送電系統構成	模擬回路	模擬回路	模擬回路	—
送電損失(率)計算	直流電位差	直流電位差	熱電對方式	Bmn 方式
水系運用計算機	—	—	—	12. PS 264MW
經濟運用裝置의 運用開始	1963/10	1965/4	1959/4	1963/
經濟運用裝置使用主目的	翌日運用計劃計算 off-line	翌日運用計劃計算 off-line	翌日火力運用計劃計算 off-line	AFC 와 結合하여 一部의 水火力과 經濟運用 制御運轉 on-line ° 水系運用計算機는 翌日運用計劃計算에 만 使用 off-line
將來計劃	on-line 自動給電	on-line 自動給電	digital計算機를 사용한 自動給電	Digital 計算機를 사용한 自動給電

關 西	中 國	四 國	九 州	北 陸
digital 水力 3 火力 8	Anolag 水力 5 火力 4	Analog 水力 5 火力 3	Analog 水力 5 火力 7	Analog,digital 水力 4
Hybrid HIPAC 103 8,192 1,024 7,168 27 19(調整式水力) 14(自流式水力) 53 16 4 模擬回路 直流電位差 ——	Analog ELDA 7 1(自動) 15 15 2 模擬回路 熱電對方式 ——	Digital HIPAC 103 8,192 1,024 7,168 ——	Hybrid TOSBAC 3300B 49,792 8,192 41,600 Lodic 11 4(自動) 17 模擬回路 直流電位差 耳川水系 11PS	檢討中
1962/4	1960/1	1964/6	1965/5	
翌日運用計劃計算 off-line	當日運用修正計算 on-line 翌日運用計劃計算 off-line	翌日運用計劃計算 off-line	自動給電制御 on-line 翌日運用計劃 運用實績等 off-line	
All digital 方式으로 變更	digital 計算機를 사용한 自動給電	All digital 方式	total automation	under investigation

또 表 5는 各電力會社에 設置되고 있는 經濟運用裝置의 運用에 關한 現狀을 整理한 것이다. (10) 이것을 簡單히 說明하면, 먼저 同表에서 볼 수 있는 바와 같이 거의 大部分이 翌日運用計劃計算에 使用되고 있지만, 其中 九州電力에서는 別켜 Hybrid型 計算裝置를 On-line으로 使用한 自動給電을 實施하고 있다. (11)

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시켜가면서 最適負荷配分을 決定하는 r 法 또는 ϕ 平均化法이 많이 採用되고 있다. 이 외에도 水力設備의 關係로부터 水力變落差特性, 貯水量制限 等を 嚴密히 考慮하지 않으면 안될 경우에는, 平均 Gradient法을 使用하고 있다. 其他 火力發電機關의 負荷配分은 모두 等増分費法을 適用하고 있다.

이들 計算은 1日 24時間 各時間別의 運用을 決定하는 Type 作業까지 包含하여 約 20~150分程度로 끝나고 있다.

以上の 經濟運用 計算裝置의 使用實績을 參考로 將來 우리나라에서 導入할 運用裝置의 概況을 살펴보기로 하겠다. (10), (11)

먼저 使用 計算機型式으로서는 Analog Type보다도 Digital Type가 精度의 면에서 淸單 아니라 多目的 利用이라는 觀點에서 推賞할 수 있다. 後述하는 바와 같이 將來 總合的인 自動給電의 一環으로서 機械化를 推進시켜 나가자면, 當然히 大型 Digital 計算機에 依한 全 Digital Type를 指向하게 되지만, 이點에 關하여서는 한층더 慎重히 檢討하고 또 解決하지 않으면 안될 問題가 남아 있을 것이다.

한편 AFC 및 經濟運用兩者의 協調만을 考慮하는 現時點에 있어서 上記 計算裝置의 導入을 睥한다면, Digital部와 Analog部分을 結合시킨 Hybrid System의 採用이 無難할 것으로 生覺되고 있다.

다음 第2次 5個年計劃 完成時의 1971年度에 있어서의 計算對象을 추리하면

水力單位 6個所

華川, 春川, 衣岩, 淸平, 八堂, 昭陽江

火力單位 17個所

서울火力 #1, 唐人里, #5, 寧越 #1, #2, 三陟, 嶺東, 釜山, 馬山, 群山, 嶺南 #1, #2, 釜山 #3, #4, 蔚山, 여수, 仁川,

計 23機정도의 規模가 될 것으로 淸算된다.

이程度의 規模라면 中心이 될 Digital 計算機規模로서도 (Hybrid Type 採用時) 所要記憶容量이 30k 정도면 充分한 것이다. 다만 將來의 On-line Control에 對備하고, 또 多目的 利用의 一環으로서 特別 Off-line 計算 및 技術計算

을 重視하여 生覺한다면, 다시 上記의 數倍정도의 計算機가 要求되어야 할 것이다.

다음 그림 4는 最近急速히 發達되어가고 있는 電子計算機의 進歩를 計算速度로서 圖示한 것이다.

但 여기서는 LBM 7030機를 基準으로 하고 있는데 이것은 大略다음과 같은 性能을 가진 機種이다.

IBM 7030機 性能 :

1 word— 64 bit

主記憶容量 : 16~262k word

Access Time: 2.2 μ s

Add(±)Time: 1.5 μ s

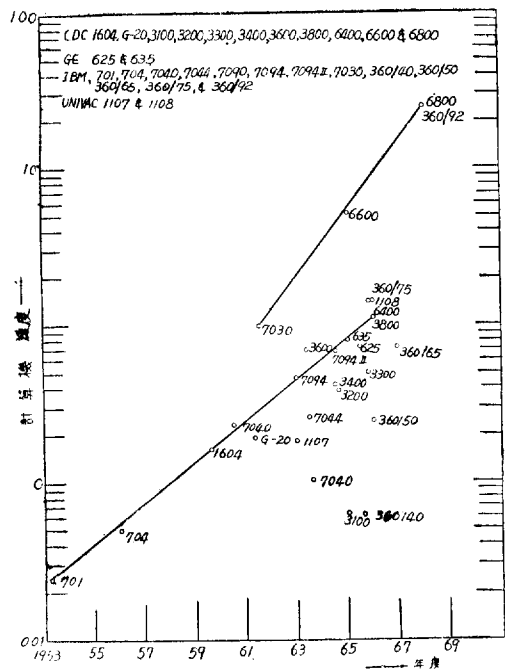


그림 4. 電子計算機의 進歩

3-3 系統運用總合自動化的 將來構想

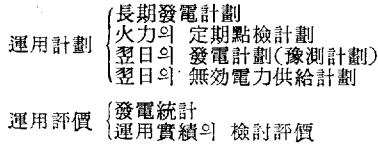
將來 우리나라에서도 Digital 計算機를 中心으로한 電力系統運用의 自動화 또는 機械化의 實現을 睥하여야 할 것이다.

곧,

- 系統制御 { 自動周波數制御
經濟運用制御
電壓無効電力制御
電力潮流制御
- 系統操作 { 事故時自動復舊(異常時)
定常時自動操作
- 監視記錄 { 運轉記錄
機械狀態監視
潮流狀態監視

이것들은 Digital 計算機를 On-line으로 使用함으로써 實行될 것이다.

또



等은 Off-line 計算으로 實行될 것이다.

이와 같은 自動給電 system 의 基本構成은 制御對象인 電力系統과 制御要素인 電子計算機가 傳送系를 中繼하여 그림 5 와 같은 Loop 를 形成하는 것이며, 自動給電機能의 殆半은 中央給電指令所에서 統制되어, 이것이 一部必要에 따라 系統給電所 또는 地方給電所를 媒介로 하여 有機的으로 結合되는 것으로, 그 概要는 그림 6 과 같이 될 것이다.

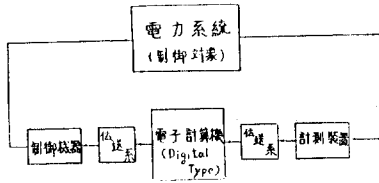


그림 5. 自動給電 System 의 基本構成

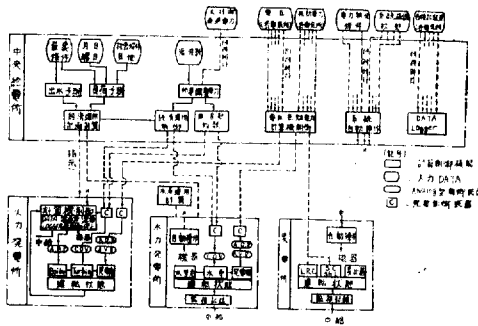


그림 6. 系統運用的 總合自動化에 關한 結合圖

4. 結 言

以上으로 第2次 電源開發計劃의 推進에 따라, 가까운 將來 直面하게 될 系統制御問題에 關하여, 就中 가장 時急한 問題가 될것으로 生覺되는 周波數制御問題 및 經濟運用問題를 考察하였다. 앞으로 系統의 合理的인 運用을 指向하여, 이와 같은 系統制御를 實現하기 爲하여, 또 한거를 더나가서, 上記兩者의 協調를 꾀하면서 電壓無効

電力制御까지 包含한 總合的인 自動給電實現을 欲하여서 는, 앞서 檢討하고 解決하여야 할 問題가 많이 남아 있다.

새삼스리히 말할 必要도 없겠지만, 우리나라 系統의 實情에 맞추어 여러가지로 解析, 調查, 檢討가 있어야만 비로소 우리나라 系統에 適合되는 合理的인 系統制御가 可能하게 될 것이다. 또 이와 같은 合理的인 系統運用이라는 것은 어디까지나 一朝一夕에 이루어지는 것이 아니라, 한거를 한거씩 當面된 問題를 克服함으로써 이루어져 나가는 것이다.

이러한 가운데 特히 將來 制御의 中核이 될 電子計算機에 對하여는 보다 많은 考慮가 있어야 할 것이다. 現在 韓國電力에 있어서는, 가까운 將來 經濟運用裝置로서의 Digital 計算機의 導入을 計劃하고 있으나, 이것을 單純히 裝置로서 專用한다는 것 보다는, 보다 合理的인 系統運用을 期하기 爲한 道具로서 驅使할 수 있겠음, 多目的利用이라는 觀點에서 餘裕있는 機種을 選擇할 必要가 있을 것이다.

마지막으로 本報告書作成에 있어서 金善集常務 및 金鍾珠技術部長任께서 많은 配慮를 주신데 對하여 깊이 謝意를 表하는 바이다.

參考文獻

- (1) 韓電, 早大: 大韓電氣學會誌 Vol 15, No.5 1966.12.
- (2) 韓電: 韓國電力年鑑 1964年, 1965年. 1966年版
- (3) 韓電: 長期電源開發十個年計劃(1967~1976) 1966.8
- (4) 宋上之蘭: 日本電力中央研究所 技術研究報告 電力 64002.1964.4.
- (5) 尾出: 日本電氣學會誌 Vol 81 No 878 p.95~104. 1961.11.
- (6) 東京電力: 自動周波數制御委員會報告書 1960.
- (7) 委員會報告書: 日本電力中央研究所技術研究報告 電力 61044 1962.3.
- (8) 埴野: 日本電氣學會誌 Vol 83-9 1963.9
- (9) 宋: 大韓電氣學會誌 Vol 15 No 4.
- (10) 梅津: 第2回 IFAC/IFIP Conference Paper 1967. June.
- (11) 委員會: 系統運用懇談會資料 No1~No3 1965. 1966.
- (12) 尾出: 日本電力中央研究所 技術業務資料 No 66001 1966.4.
- (13) IEEE Spectrum May 1965.
- (14) CIGRE Report No 308. 1964.

1967年 4月 3日 接受