講演

電力系統의 經濟運營 및 電壓—無效電力 制御의 概要

埴 野 一 郎*

1. 緒 言

日本에 있어서의 電力需用增加는 過去 10年間의 實績에 依하면 每年 平均 15% 가까운 伸張率을 보여 1953年의 全國 販賣 電力量은 約 370億 KWH 였음에 對하여 1963年은 約 1,200億 KWH 로서 10年間에 電力需用은 거의 3.3倍로 增加 되었다.

앞으로의 增加 傾向은 從前보다 若干 低下될 것으로 짐작되지만 그래도 아직 10% 정도의 伸張率이 豫想되고 있다. 이와 같은 需用의 急增에 對處하여 多數의 高溫高壓의 大容量 火力發電所, 原子力發電所, 超高壓 送電線等이 建設되었고 또한 電力會社間에 있어서도 大規模的인 廣域聯系運轉方式이 採用되어 電力系統은 크게 變貌하고 있다고 하겠다.

한편 各 産業의 近代化에 따라서 電氣의 質, 곧 service quality 向上에 對한 要望이 더욱 더 높아지고 있어 從前보다 한층 더 高度의 系統運用 技術이 要求되고 있다. 이와 같이 複雜하고 規模가 큰 系統에 있어서 service quality 가 높은 良質의 電氣를 供給하기 爲하여서는 從來의 人爲的 判斷에 依한 運用方式이나 또는 小地域的(sub-system)인 制御方式만으로는 限界가 있으므로 一貫的인 自動化가 더욱 더 要望되고 있다고 생각된다. 以下 簡單히 系統運用에 關한 基本的인 問題를 說明하겠다.

2. 電力系統의 最適運用

(基本方針과 이에 따른 運用의 槪要)

電力供給에 있어 必要되는 基本的인 條件은

(a) 信賴性

(b) 經濟性

(c) 安全性

의 세가지이며 系統運用에 있어서는 系統이 가진 電力設備로서 上記 세 條件을 모두 滿足시켜야 할 것이다. 그러나 이들 條件은 本質的으로는 相反되는 要求이며, 이들을 모두 最高度로 滿足 시킨다는 것은 不可能한 일일 것이다. 따라서 實際面에 있어서 이것들 間의 均衡을 바로 잡아 個個의 要求를 充足시켜 간다는 것이 重要할 것이다. 곧 特定한 機能, 目的을 가진 個個의 運用技術을 總合하여 各 條件의 協調를 取한다는 것, 바꾸어 말하자면 運用技術의 適切한 總合化가 最適運用이라고 할 수 있지 않을까 생각된다.

여기서는 于先 個個의 基本條件에 對하여 그 具體的 內容을 살피고 여기에 關聯되는 運用技術을 紹介하기로 하겠다.

(a) 信賴性(Service quality)

電力供給에 있어서의 service quality 라 하는 것은 需要家의 要求에 應하여 確實히 또한 良質의 電氣를 供給한다는 것이며 具體的으로는 供給支障(停電 또는 電力使用制限)을 最少로, 周波數와 電壓을 規定値에 維持한다는 것이다.

그런데 供給支障은 一般的으로 보아 事故, 異常渴水, 豫測치 못한 需用 增加等의 異常事態에 의하여 發生되는 것인데, 供給支障을 最少限으로 누르기 爲하여서는 異常事態의 減少(需用, 出水 등의 豫測精度의 向上, 保護繼電器의 完備), 豫備電力設備의 充足, 適切한 系統構成의 實施 等 各種의 事前 對策이 必要한 것이다. 또 이와 併行하여 異常事態時의 適切한 系統操作, 例를 들면 發電機 運轉 交替, 送電線의 接續變更, 負荷遮斷, 他系統으로부터의 緊急 應援措置, 事故復舊 操作等을 迅速 確實하게 實施할 必要가 있을 것이다. 이러한 觀點에서 現在 系統의 自動操作이 計劃되고 있으나 벌써 事故後의 迅速, 確實한 系統 復舊에 依하여 供給支障을 最少限으로 막고 또 其後의 運用을 圓滑하게 하기 爲하여 自動復舊裝置를 設置한 變電所도 있다.

다음 周波數와 電壓에 對하여 이것들은 時時刻刻 需用의 變動에 起因하여 變動되는 것으로(周波數는 有效電力 P의 變動에 의하여 變化하고, 電壓은 有效電力 P 및 無效電力 Q의 變動에 따라 變化한다. 配電系統의 電壓 變動에 關하여는 有效電力의 變動, 送電系統의 電壓

* 日本 早稻田大學 敎授・工博
日本 電氣學會 副會長

變動에 對하여는 無效電力의 影響이 크다.)

이에 對하여 適切한 制御가 行하여지지 않으면 안될 것이다. 곧 周波數는 系統의 어느 곳에서 測定하여도 같으며 式 (1)에 보이는 바와 같이 系統 全體의 發電力과 需用과의 差로 因하여 變化하는 것이므로 周波數 制御는 需用의 變動에 對하여 適切하게 調整하므로써 行하여지는 것이다(이 操作을 行하는 發電所를 調整用 發電所라 하며 一般的으로는 系統內 數個所의 發電所가 여기에 參加하고 있다).

그림 1은 周波數 制御系의 原理圖이다.

$$\Delta f = K\int(\Sigma G - \Sigma L)\,dt \qquad (1.1)$$

Δf=周波數 變化

ΣG=系統의 全 發電力

ΣL=系統의 全 需用(負荷)

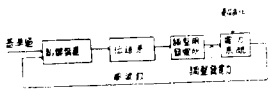

그림 1. 周波數 制御系의 原理圖

周波數는 電氣時計의 精度 維持, 纖維, 製紙等 各種 工場 製品의 品質 確保, 鑛山等의 操作 安全度 確保, 電子計算機, 精密計器等의 信賴度 및 精度 維持等으로 그 制御가 需用家側으로부터 要求됨과 同時 電力事業으로서도 系統運用의 合理化, 發電設備 特히 火力發電所의 安全 運轉을 期하기 爲하여서도 相當한 周波數 精度가 要求되는 것이다. 이에 對處하여 現在 各 電力會社가 自動周波數制御(AFC)를 實施하여 規定値(東京電力, 東北電力, 北海道電力은 50 c/s, 다른 系統에서는 60 c/s)에 對하여 ±0.1 c/s 程度의 變動 範圍內에 維持하고 있다.

한편 電壓은 各 回路에 흐르는 電流 **I**에 依한 電壓降下 **ZI**에 依하여 變動하는 것임으로 地點마다 그 크기가 다른 것이다. 더욱이 需用家는 低壓 需用家(100 V, 200 V 受電) 뿐만 아니라 高壓 需用家(3,000 V~10,000 V 受電), 特高 需用家(20,000 V~154,00V0 受電) 等의 各 電壓 階級에 걸쳐서 널리 系統內에서 分布하고 있기 때문에 相當數의 地點에서 個個로 電壓 維持에 努力하지 않으면 안될 것이다.

電壓의 調整 裝置도 各 地點에 分散 設置 되고 있어 가령 예를 들면 各 發電所에는 A.V.R, 各 變電所에는 調相設備(並列 condenser-SC, 並列 reactor-Sh L) 또는 負荷時 tap change 變壓器(LRC)가 設置되고 있어 個個의 機能은 若干 다르더라도 어느 것이나 電壓 制御에 對하여는 有效한 機能을 지니고 있다. 여기 對한 具體的인 制御方式에 對하여는 다음에 說明하겠다.

따라서 電壓問題는 周波數가 全體的임에 對하여 局所的이며 그 內容도 相當히 다르기 때문에 兩者의 特徵을 比較하면 **表 1**과 같다.

表 1. 周波數問題와 電壓問題의 比較

	周 波 數	電 壓
變動原因	有效電力의 變動	有效電力, 無效電力의 變動, 送電系統에 있어서는 主로 後者에 起因됨
調整機器	發電機의 調速機	發電機의 AVR 調相設備(SC ShL LRC 등)
變動値	系統 全體 共通	各 地點마다 相異함
制御에 있어서의 操作量	發電機 入力 energy	無效電力 供給源 變壓比
特徵	全體的	局所的

現在 低壓 需用家의 電壓에 對하여는 電燈 101±6 V 動力 202±20 V가 維持 目標로 되고 있다. 電氣爐와 같이 脈動的으로 變動하는 負荷에 따라서는 電壓이 極히 빠른 周期의 變動(電氣 flicker)을 일으켜 그 結果 照明이나 TV 障害의 原因이 되고 있다. 特히 10 c/s 근방의 變動이 이들 障害에 對하여 第一 苛酷한 것이며 變動量이 0.4 V 以上이 되면 相當數의 사람이 不快感을 느끼게 되고 있다. 따라서 이러한 障害를 避하기 위하여 各種의 電壓 flicker 抑制 對策이 세워 지고 있다.

(b) 經濟性

電力 供給에 있어서 經濟性이라 하는 것을 한마디로 말하면, 前記한 service quality의 維持를 前提로 한 電力供給 原價의 低廉化이다.

그런데 原價는 固定費와 可變費로 大別 되는데 系統運用에 있어서의 經濟性은 이 가운데서 可變費의 低廉化가 主되는 命題로서 具體的으로는 그 殆全을 차지하는 燃料費의 引下에 있다고 할 수 있을 것이다.

이러한 意味에서 電力 需用에 對하여 特性이 다른 各 發電機間의 負荷 分擔을 適切히 하므로서 系統 全體의 總燃料費를 最少로 하는 運用이 必要하게 된다.

이때 가령 發電效率이 같다고 하더라도 需用地點까지의 距離가 멀어 送電損失이 큰 경우에는 同量의 電力을 供給한다고 하더라도 發電端에서 損失分을 考慮하여 發電量을 增加 시켜야 하기 때문에 燃料費가 增大된다. 따라서 發電效率뿐만 아니라 送電損失과의 關係에서 發電機間의 最適 負荷 分擔을 決定하지 않으면 안될 것이다.

이러한 運用을 特히 經濟運用이라 하며 그 內容에 있어서는 다시 說明하겠지만 이것은 電力系統에 있어서 主要한 運用技術의 하나가 되고 있다. 또 發電機 自體에 對하여서도 發電力에 따라서 언제나 最高效率로 運轉할

것이 要求되고 있으며 水力發電所에 있어서는 流入水量을 最大限으로 活用할 수 있게끔 水力運用 計算裝置가 火力發電所에 있어서는 計算機制御의 一環으로 最適 運轉制御가 考慮되고 있다.

送電損失이 發電量 더 나아가서는 燃料費에 影響을 미친다는 것은 이미 說明하였지만 한걸음 더 나아가서 電力供給 設備에도 영향을 미치는 것이다. 곧 送電損失이 增加하면 그 만큼 餘分의 發電設備를 必要로 하고 이에 따른 送變電設備의 增加를 가져 오게 된다. 따라서 送電損失의 減少는 經濟性에 對하여 相當한 效果가 있을 것으로 期待됨으로 運用面에 있어서도 앞서 이야기한 經濟運用 以外로 loop 送電系統에 있어서의 潮流制御 高能率 送電 無效電力의 適正 配分 制御 등 各種의 送電損失減少 對策이 생각되고 있다.

各 設備의 利用率을 올리고 系統 全體로서의 均衡이 잡힌 設備의 運用으로 局部的인 過負荷를 防止하므로서 設備를 最大限으로 活用한다면(設備의 有效利用) 單位電力量의 電力供給 原價가 싸지고 또 새로 增設할 設備의 建設 時期를 遲延시킬 수 있게 된다.

이러한 目的으로 各 設備 特히 長期의 點檢期間(1~2個月 程度)를 要하는 火力發電所의 適切한 定期點檢, 計劃의 作成, 火力發電所 負荷率의 向上과 揚水式 水力發電所의 運用, 前記 高能率 送電 無效電力의 適正 配分 制御 等에 依한 送變電設備 및 調相設備의 有效利用 等等의 方法이 計劃되고 있다.

(c) 安全性

다음은 安全性인데 이것은 機器의 安全 運轉과 人間에 對한 安全 確保의 두가지로 大別된다. 機器의 安全 運轉에는 事故의 防止, 機能低下의 防止, 機器壽命의 維持 等의 要因이 있어 具體的으로는 過負荷 電壓 또는 周波數의 過度한 上昇 또는 低下, 機器溫度, 蒸氣溫度, 蒸氣壓力, 各種 水位(火力發電所에 있어서 drum 水位, 水力發電所에 있어서의 surge tank 水位……) 등 狀態量의 異常한 上昇 또는 變動, 機器의 異常振動, 機器의 異常動作, 誤操作等은 避하지 않으면 안될 것이다. 따라서 機器의 運轉狀態를 恒時 監視하고 異狀事態를 未然에 防止함과 同時 異狀事態의 發生時에는 이에 依한 被害를 最少限으로 막기 위하여 機器의 遠隔監視 保護制御가 設備 또는 整備되려고 하고 있다. 人間에 對한 安全 確保는 運用 뿐만 아니라 設備計劃의 當初부터 언제나 留意되고 있고 더 나아가서는 安全管理, 厚生, 福祉 등 모든 面으로 부터 方策이 세워지고 있다. 特히 運用面에서는 危險 作業으로 부터의 回避, 過大한 勞動案件으로 부터의 解放, 機器의 危險狀態 防止 등이 必要하며 이에 對하여서는 各種 自動制御, 自動操作 등의 自動化 및 機器의 保護 監視制御가 寄與하는 바가 크다고 하겠다.

以上 電力系統에 있어서의 最適運用에 關한 基本方針과 具體的인 運用方法의 槪要를 紹介 하였으나(**表 2** 參照) 將來에 있어서의 方向은 諸言에서도 말한 바와 같이 總合的인 自動化이며 運用計劃에 있어서는 電子計算機의 活用이 情報 傳送回路를 中心으로 하여 이것과 各種 制御 loop를 適切하게 結合한 總合的인 協調 自動制御系를 實現한다는데 있을 것이다.

以下 電力系統의 運用 技術中 特히 近來 主要 課題로서 重要視되고 있는 經濟運用 電壓 無效電力 制御에 對하여 그 槪要를 紹介하고저 하는 바이다.

表 2. 電力系統에 있어서의 最適運用의 基本 方針

最適 運用의 基本的 條件		左記에 對한 系統運用 方法	
		項 目	現 狀
信賴性 (Service quality)	供給支障(停電電力使用制限)의 減少	系統 操作	系統 自動操作, 計劃事故時 系統自動 復舊 一部實施
	周波數 維持	周波數 制御	電力會社에서 自動制御 實施中 周波數 變動 幅 0.1 c/s 程度
	電壓 維持	電壓 制御	綜合的인 電壓制御 計劃 乃至 實施中 電壓 維持 目標 電燈 : 101±6 V 動力 : 202±20 V
經濟性	燃料費節減	經濟 運用	大半의 電力會社가 經濟運用 計算機를 設置하고 있다. on-line의 經濟運用 制御는 周波數制御와의 協調制御의 形에서 一部 實施中
	送電 損失 減少設備의 有效 利用	潮流 制御	Loop 送電系統에서 採用
		高能率送電	漸次 이 方針을 採用中
		無效電力의 配分 制御	電壓制御와의 協調制御計劃中 一部 部分的으로 實施
		定期點檢計劃	計算의 機械化 計劃中
安全性	機器의 安全 運轉(事故, 機能低下의 防止 life 維持)	機器의 保護, 制御 機器의 監視 制御	實施 데타로가ー 計算機 制御 等의 整備 段階
	人間의 安全 確保	各種 自動化 機器의 保護 監視	

3. 經濟 運用

3·1. 經濟運用의 原理

電力系統의 經濟運用이라고 하는 槪念을 넓게 解釋하

면 "電力系統의 運用에 있어서 經濟的 效果를 올리는 方法"은 모두 包含하게 되지만 여기서는 "水火力發電所의 combination 및 各 發電所間의 發電力(負荷) 配分을 適切하게 行하므로서 火力發電에 要하는 總 燃料費를 最少로 하는 運用"을 經濟運用(Economic Load Dispatching)이라고 한다.

이것을 火力發電所群 만으로 된 簡單한 系統에 對하여 생각하면

$$\sum_{n=1}^{n} G_n = P_R \quad \text{(需要條件)} \tag{1}$$

의 條件 아래

$$F=\sum_{n=1}^{n} F_n(G_n) \rightarrow \text{最少} \quad \text{(燃料 最少)} \tag{2}$$

을 풀게 된다.

여기에 微分法(Lagrange 의 未定 係數法)을 適用하면

$$\frac{dF_1}{dG_1}=\frac{dF_2}{dG_2}=\cdots\cdots=\frac{dF_n}{dG_n}=\lambda \tag{3}$$

로 된다.

G_n : No. n 火力發電所의 出力(KW)

F_n : 同上 燃料費 出力의 函數(圓)

P_R : 需要電力(KW)

λ : Lagrange 定數

곧 이것을 經濟運用을 滿足하기 위하여서는 各 發電機의 增分 燃料費를 同一하게 運轉한다는 것이다. 萬若 送電損失 P_L 을 無視할 수 없을 때에는 式 (1)의 需給條件式이

$$\sum_{n=1}^{n} G_n - P_L = P_R \tag{4}$$

로 되어 式 (3)이 다음과 같이 變形된다.

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dF_1}{dG_1}L_1=\frac{dF_2}{dG_2}L_2\cdots\cdots=\frac{dF_n}{dG_n}L_n=\lambda \\ &L_n=\frac{1}{1-\dfrac{\partial P_L}{\partial G_n}} \quad \text{(penalty factor)} \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

水力發電所가 包含되는 水, 火力 併用 系統에서는 問題가 相當히 複雜해진다.

곧 水力發電所에서는

1) 어느 期間內의 使用水量(1次 에너지量)이 주어지고 있어 이것을 그 期間內에 가장 有效하게 利用하지 않으면 안되는 것이며 또 그 동안에 있어서의 貯水池 또는 調整池 落差의 變化가 出力에 영향을 준다.

2) 同一 水系에 여러 發電所가 存在하는 경우에는 上流 發電所의 水量 使用 方法이 下流 發電所의 運用에 영향을 미치고 또 이때 물의 流下時間을 考慮하여야 한다.

하는 등의 問題가 있어 時間函數로서 期間을 지닌 經濟性, 곧 어느 考察 期間內의 火力發電에 要하는 總費用을 最少로 한다는 運用 方法을 生覺하지 않으면 안 될 것이다. 따라서

$$\sum_{n=1}^{N} G_n + \sum_{m=1}^{M} Pm - P_L = P_R \quad \text{(需給條件)} \tag{6}$$

및

$$\int_o^T Q_n dt = \text{一定} \tag{7}$$

(T 期間 內의 使用水量 一定 條件)

의 條件 아래

$$F=\sum_{n=1}^{N}\{\int_o^T F_n(G_n)dt\} \rightarrow \text{最少} \tag{8}$$

(T 期間內의 燃料費 最少)

를 푸는 問題가 된다.

따라서 前述한 微分法을 그대로 適用 시킬 수 없어 變分問題로서 別途 適當한 解法을 採用하지 않으면 안되게 된다.

考察 期間으로서는 現在, 長期, 短期, 瞬時의 三段階로 分類되고 있으며 이 中 長期 및 短期는 運用計劃의 問題, 瞬時는 時時刻刻의 負荷變動에 對應한 運用制御問題로서 各各 長期運用計劃, 短期運用計劃, 瞬時運用制御라고 부르고 있다.

a) 長期運用計劃은 1個年을 考察期間으로 하고 過去의 需要 및 出水 데-타에 의거 하여 다음 해의 大容量貯水池의 運用과 年間 各月(또는 各旬, 各週)의 各 發電設備의 運用計劃을 作成하는 것이며 아울러 短期運用計劃의 端點 條件을 定한다.

b) 短期運用計劃은 1日(또는 1個月 정도)을 考察 期間으로 한 것으로 翌日(또는 翌月)의 調整池 및 各 發電所設備의 運用計劃을 作成한다.

이 計劃에 의거하여 翌日의 發電所 運用의 大綱(한 時間마다의 發電力, 調整池水位 등)이 決定되고 또 時時刻刻의 負荷變動에 對應한 瞬時運用制御에 있어서의 各發電所間의 負荷配分 比率을 定한다.

c) 瞬時運用制御는 短時運用計劃에서 定해진 運用을 基礎로 하여 時時刻刻 變動하는 需用에 對하여 AFC와 協助하면서 各 發電機 出力을 制御하는 것으로 어느 것이나 前記 基本式을 原則으로 하여 解析되고 있다.

具體的인 解析條件 解析 手法에 對하여서는 各各 그 目的에 따라 適切한 것이 選擇되고 있다.

3.2. 水火併用 系統의 經濟運用 計算方式

最近 水火併用 系統에 適合한 여러가지 計算方式이 開發되고 있다.

例를들면

(a) Gradient 法(微分的 方法 및 變分的 方法)

(b) Dynamic programming 法(大局的 方法 및 反復近似法)

(c) 協助方程式 等이 있다.

a) Gradient Method

이 方法은 最急傾斜法이라고 불리는 것으로 極値(極大 또는 極小値)를 求하는 直接的 方法으로서 使用 範圍가 넓은 것이다.

이것은 費用 函數의 極小値를 求하는데 重點을 두는 方法이므로 반드시 最小値가 求하여 진다고는 할 수 없는 것이다. 따라서 費用 函數의 極小値가 여러개 있을 경우에는 그 中의 한 極小値를 近似 最小値로 하는 수도 있는 것이다.

곧 經濟運用의 必要條件은 滿足하지만 充分條件까지 반드시 滿足하다고는 할 수 없다는 點에 注意할 必要가 있는 것이다(例를 들면 初期條件 如何에 따라 計算結果가 틀리는 수가 있다). 또 修正 計算을 하기 爲한 修正係數의 크기 如何에 따라서도 計算結果의 收斂速度가 相當히 틀린다. 이 gradient 法은 各部分部分을 全體的으로 把握해 나가는 點이 特徵이며 短期運用計劃에 對하여 有望한 實用的 計算方法이라고 하겠다.

b) Dynamic programming 法(D.P 法)

D.P 法은 時間分割한 部分 部分을 漸次 最適狀態(經濟運用問題에 있어서는 燃料費 最少)로 하는 計算을 거듭해 나가는 方法이다. 따라서 長期 運用計劃처럼 河川出水 및 負荷의 確率論的인 取扱을 포함할 경우, 豫想 error를 修正할 必要가 있을 경우 또는 最適狀態의 近傍의 性質을 미리 알고 싶어 할 경우 등에 對하여 가장 有效한 手段이라고 하겠다.

다만 이것은 短期 運用計劃에서 물의 流下時間을 包含시킬 때 相當히 困難한 點이 있다.

c) 協調方程式法

前述한 式 (6)~(8)에 Lagrange 未定 係數法을 適用하면 다음과 같은 協助方程式이 된다.

$$\frac{dF_1}{dG_1}\cdot\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial G_1}}=\frac{dF_2}{dG_2}\cdot\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial G_2}}=\cdots\cdots$$

$$=\frac{dF_N}{dG_N}\cdot\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial G_N}}=\gamma_1\frac{dQ_1}{dP_1}\cdot\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial P_1}}$$

$$=\gamma_2\frac{dQ_2}{dP_2}\cdot\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial P_2}}=\cdots\cdots=\gamma_m\frac{dQ_M}{dP_M}$$

$$\frac{1}{1-\frac{\partial P_L}{\partial P_M}}=\lambda$$

이 協助方程式에는 需給 balance에 對應하여 入力用 balance에 對應하는 γ라는 2個의 Lagrange 未定係數가 包含된다. γ는 貯水池의 水位의 函數로서 이 性質을 利用하여 各 水力發電所에 있어서의 使用水量을 決定할 수가 있다.

最經濟狀態를 나타내는 協助方程式을 풀기 위하여서는 λ(또는 需給 balance 條件), γ(또는 使用水量 balance 條件)을 計算하는 두 種類의 反復計算 loop를 構成하여 計算할 수 있을 것이다. 이 解法은 앞서 說明한 (a) 및 (b)의 計算法이 digital 計算에 알맞는데 對하여 이것은 analog 計算에 適合하므로 短期 運用計劃(또는 瞬時 運用制御)에 널리 利用할 수 있을 것이다.

3·3. 經濟運用 裝置와 그 設備 狀況

經濟運用裝置는 1954年 美國 Leede & Northrop 社에서 製作한 通稱 "Eary Bird"가 最初의 것으로 이어 많은 裝置가 開發 利用되고 있다.

日本에서는 1957年 大倉電氣에서 開發한 Lodic(Eary Bird의 비슷한 것으로 servo-motor 使用의 analog type)를 九州電力이 採用한 것을 비롯하여 其後 中部 電力이 Lodic 東京電力 및 中部電力이 Yew 社製 Elda를 採用하고 있다.

이것들은 어느 것이나 analog type이며 火力을 主體로 한 計算機인데 1962년에 analog와 digital을 併用한 所謂 Hybrid 型의 計算機가 關西電力에 設置되고(日立製) 그後 이어서 東北電力, 北海道電力에서도 같은 type의 計算機가 設置되었다.

이와 같은 Hybrid type computer는 水火併用 系統의 經濟運用計算에 適合한 것으로 火力의 燃料費 및 送電損失은 analog로, 水力의 計算 및 最適化의 計算은 主로 digital로 하게끔 되어 있다.

또 同一 河川에 調整容量이 다른 發電所나 自流式 發電所가 多數 連接된 所謂 連接 水系에 對하여서는 日間의 豫定計算을 行하는 analog type의 單能 計算機(水系運用計算裝置)가 最近 中部電力에서 實用化되었다. 이 計算機와 Lodic를 併用하므로서 水火力併用의 經濟運用에 效正를 올리고 있다.

日本에 있어서의 經濟運用 裝置 設置狀況을 **表 3**에 싣겠다.

3·4. 經濟運用에 關한 課題

經濟運用은 앞에서 說明한 바와 같이 이미 各 電力會社에 實用化 시키고 있으나 더욱 더 그 成果를 올릴 수 있게끔 銳意 硏究가 繼續되고 있다. 特히 現在 重要한 問題로서 硏究되고 있는 事項은

(a) 豫測精度의 向上과 確率的 解析 手法 및 豫測誤差 修正法의 開發, 短期 및 長期 運用計劃은 將來의 需要 및 出水狀態의 豫測値에 의거하여 解析되고 있으므로 特히 豫測精度가 經濟運用의 效果와 密接한 關聯을 가지고 있다.

그런데 短期運用에 있어서 翌日의 需用 및 出水豫測은 氣象條件, 過去의 實績 統計 等을 기초로 해서 相當

表 3. ELD 裝置의 設備狀況

電力會社名	製作社名	計算方式	系統損失計算回路		計算概要
北海道	東芝 大倉	Hybrid	電位差測定方式	1963 -7	翌日의 運轉 Schedule 計算
東北	日立	〃	〃	1963	〃
東京	横河	Analog	反復測定方式	1959	〃
中部	大倉	〃	B 係數方式	1958	並列形直接配分方式에 依한 自動給電
	東芝	〃		1963	每日의 豫定發電線及물(水)의 單價의 算出(γ)
關西	日立	Hybrid	電位差測定方式	1962	瞬時計算 및 翌日의 豫想計算
中國	横河	Analog	反復測定方式	1960	翌日의 豫想計算
九州	大倉	〃	電位差測定方式	1957	並列形直接配分方式에 依한 自動給電
	〃	〃		1962	中央給電指令所로부터의 負荷配分信號에 의한 自動給電

한 精度를 올리고 있어, 豫測誤差도 2~3% 정도이므로 別問題가 없다.

한편 長期 運用計劃에 있어서의 翌年 豫測은 渴水年, 豊水年의 差가 크고, 또 經濟變動 등에 依한 需用 豫測誤差도 現在 相當히 큰 편이다. 따라서 現在 精度가 한층 더 높은 豫測手法의 開發과 아울러 이것들을 確率的 變動量으로 取扱한 經濟運用 計算手法의 開發이 計劃되고 있다. 또 運用中 實際로 豫測誤差가 生겼다고 認定된 경우의 適切한 修正計算法에 對하여서도 現在 檢討中에 있다.

(b) 長期 經濟運用 計劃과 火力發電機 定期點檢 計劃과의 協助

從來 長期 經濟運用 計劃과 火力發電設備의 定期點檢 計劃은 各各 別途로 生覺되어 왔는데(곧 長期 經濟運用 計劃에는 定期 點檢 計劃이 別途 解析되고 每月의 運轉可能 發電所가 定해져 있는 것으로 해서 計算).

本來 兩者는 密接한 關聯을 지녀야 되는 것으로 이들과 供給 信賴度를 包含한 總合的인 運用計劃이 必要되고 있다.

(c) 短期運用計劃과 火力發電機의 起動停止 計劃과의 協調

前述 (b)한 바와 같은 意味로 短期 運用計劃과 火力發電設備의 日間 起動停止 計劃과의 協調가 必要하다.

(d) 揚水式 水力發電所를 包含한 經濟運用

揚水式 水力發電所는 夜間 또는 豊水期의 火力剩餘電力을 利用하여 貯水池(또는 調整池)에 揚水하고(motor 運轉), 尖頭負荷時 또는 渴水期에 發電(發電機 運轉)하고저 하는 것으로 이것은 一般의 水力發電所와 다른 特殊한 運轉方式을 가지는 것이지만 最近 揚水式 發電所의 建設이 많아지고 있으므로 여기 對한 經濟運用 計算手法의 開發이 必要되고 있다.

(e) 廣域聯系 系統에 있어서의 經濟運用

特히 經濟運用 裝置의 設置方針과 이에 要求되는 機能에 關한 問題(곧 各 系統마다 設置된 經濟運用 裝置와 系統 全體의 經濟運用 裝置와의 協調)가 重要하게 된다.

(f) 瞬時 經濟運用 制御와 周波數 句動制御와의 協調制御 問題 等이 있다.

4. 電壓—無効電力制御

4·1. 電壓—無効電力制御의 槪要

電壓—無効電力制御의 目的은 需用家에 對한 service quality의 確保와 系統運用의 合理化에 있다. 곧 前者에 對하여서는 需用家에 對한 供給規定電壓의 維持이며 後者에 對하여서는 適正 運轉 電壓의 確保에 依한 各種 補機의 安全 運轉의 維持, 絶緣 level의 維持, corona 防止, 無効 電力 潮流의 適正化에 의한 送電損失의 減少, 送電線, 變壓器의 利用率의 向上, 各種 調整設備의 有効 利用 등이다.

그런데 從來 까지에는 系統 各 發變電所 運轉 電壓에 着眼하여 이것을 事前에 選定된 適正値에 維持하게끔 個別的으로 制御(發電所는 AVR 運轉, 變電所는 調相設備(S.C ShL)의 手動調整 또는 負荷時 tap change 變壓器(LRC))하고 왔는데 最近 이러한 目的에 對한 要求가 높아진 結果 또 系統 自體가 大規模로 複雜하게 되었기 때문에 上記 運用 方式이 再檢討되게 되었다.

그 하나의 方向으로서 從前의 個別的인 制御로 부터 無効電力制御까지 包含한 總合的인 協調制御에로 移行하는 機運이 보이고 있으며 이에 따라 몇가지 方法이 現在 採用 또는 硏究 段階에 있으나 이것은

(a) 主要個所의 電壓을 規定値에 維持할 것.

(b) 無効電力 潮流를 適正하게 할 것.

(1例를 들면 送電損失 最少의 無効 電力潮流의 確保)

(c) 各種 調整設備의 運用을 合理化 할 것.

등을 原則으로 하고 있다.

4·2. 發電所에 있어서의 自動 無効電力 制御(AQR)

從來 發電機에 設置된 自動電壓 調整器(AVR)는 一定

電壓制御를 目的으로 한 것인데 AQR는 電壓의 許容 變動內에서 送電線의 無效電力 分布가 適切히 되도록 發電機의 勵磁電流를 制御코져 하는 것이다.

無效電力 適正分布의 基本方針으로서는 送電損失 最小條件을 採用하고 있으나 이 條件을 滿足하는 發電機의 無效電力 出力 Q_s는 簡單한 二機系統인 경우 有效電力 P_s의 函數로서 下式처럼 될 것이다.

$$Q_s = a + bP_s + cP^2_s \qquad (9)$$

a, c=線路定數 및 受電端電壓의 函數

b=線路定數의 函數

따라서 發電機의 有效電力 P_s를 檢出하여 上式을 滿足하게끔 Q_s를 制御하면 된다. 多機 系統의 경우에는 上式처럼 簡單한 關係가 成立되지 않고 他發電所 出力과의 函數 關係를 包含하여 取扱하지 않으면 안된다. 實用的으로는 a,b,c 등의 係數를 適當히 選定하므로서 式 (9)를 使用하여 近似的으로 풀 수 있을 것이다.

다만 이때 a,b,c 등의 係數의 選定에 있어서는 實際의 運轉條件을 考慮하여 交流計算盤 등에 의한 事前 計算으로 미리 그 크기를 決定할 必要가 있을 것이다.

一般的으로는, 式 (9)에 있어 特히 長距離 送電線이 아닐 경우에는 b項을 無視할 수 있으므로

$$Q_s \fallingdotseq a \qquad (10)$$

곧 一定 無效電力 制御가 된다.

勵磁電流의 制御方法으로서는

(1) AVR의 基準電壓 設定用 抵抗器를 驅動하거나,

(2) AVR의 磁氣增幅 勵磁電流를 直接 操作하는 方法이 있다.

本 方式을 採用하므로서 發電所 近傍의 局部的인 最適運轉이 可能해지므로 現在 中國電力에서 實用化 되고 있다.

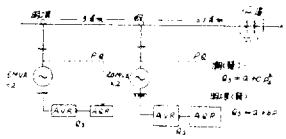

그림 2. 中國電力 江川系統(110 KV) 發電所에 있어서의 AQR 適用 例

4·3. 變電所에 있어서의 電壓 無效電力 綜合 制御

本 制御方式은 1變電所 單位마다 LRC와 SC, ShL 와의 併用으로서 變電所 電壓(主로 二次側 電壓)과 一次 幹線 着水 또는 變壓器 通過의 無效電力을 同時에 自動制御하고져 하는 것이다.

곧 變電所 電壓과 無效電力을 各各 目標値 $\pm\varepsilon$의 許容變動 範圍內에 維持하게끔 LRC의 tap 및 SC, ShL의 bank를 自動操作하는 것이다.

本 方式을 採用하므로서 變電所 電壓이 規定値에 維持됨과 同時 變電所 周邊의 無效 電力潮流를 適正化시킬 수가 있다.

그림 3은 東北電力, **그림 4**는 中國電力에서의 實施例이다(中國電力에서는 變電所 近傍의 火力發電所를 協調制御시키고 있다).

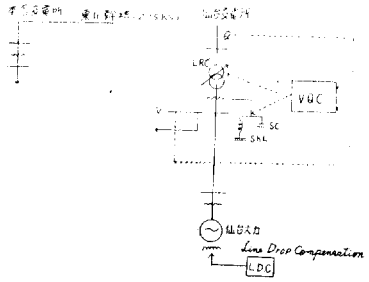

그림 3. 東北電力 仙台變電所에 있어서의 電壓 無效電力 綜合制御

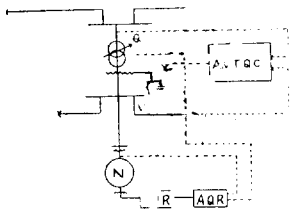

그림 4. 中國電力에 있어서의 AVTQC의 適用例

4·4. 系統電壓 無效電力의 計算機制御

本 制御方式은 前述한 1變電所單位의 電壓, 無效電力制御를 擴張하여 數個所의 發電所를 包含한 適正 規模의 系統을 1 group로 하여 各 發電所間에서 協調制御를 實施코져 하는 方式이다.

곧 本 制御方式은 group 內에서의 어느 地點에서 電壓이 變化할 때 어느 發電所에서 어떤 制御動作을 하면 가장 效果가 클가 하는 것을 電子計算機로서 計算 判斷하여 그 結果에 의거하여 制御를 實施해 나가려고 하는 것이다.

이때 必要에 따라서는 電壓뿐만 아니라 特定 送電線, 例를 들면 會社間의 連絡 送電線의 無效電力 潮流計劃値를 維持하게끔 無效電力制御도 加味되고 있다. 여기에서 無效電力潮流에 의한 送電損失 最少의 條件이라던가 各 調整設備의 操作 回數 最少의 條件 等을 目的 函數로 導入할 수 있다.

그림 5에 이 制御系의 槪要를 실었다. 한편 本 制御는 on-line 制御이며 一般으로는 數分정도 以內에 計算을 完了하여 制御 指令을 보낼 必要가 있기 때문에 計算時間이 빠른 簡單한 計算法이 開發되어야 될 것이다.

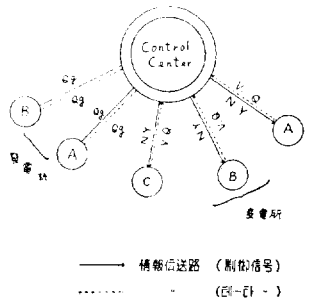

그림 5. 制御系의 槪要

4·5. 電壓 無效電力制御에 關한 課題

前述한 經濟 運用이 이미 實施 段階에 들어선데 對하여 本 問題는 今後의 重要한 系統運用 課題로써 여러가지로 硏究할 問題가 많다.

(a) 制御方式의 選定

實際 電力系統에서 採用할 制御方式은 系統에 따른 實情, 곧 系統條件(系統構成, 系統特性定數 送電損失의 크기……), 各 設備의 整備狀態(調整設備와 그 配置狀況, 傳送回線의 整備狀態와 將來 計劃, 計算機의 設置 狀態와 將來의 計劃……) 其他 여러가지를 考慮하여 決定되어야 할 것이다.

이에 따른 檢討 要因을 추려보면 다음과 같다.

(1) 制御效果

Service level 向上의 정도, 系統運用 合理化의 정도, 人的 作業(運轉, 運用計劃 等) 輕減의 정도, 送電損失 輕減 各 設備利用率의 向上에 依한 經濟效果

(2) 制御의 信賴性

傳送回線, 計算裝置, 制御裝置 等의 信賴性 및 精度

(3) 各 設備의 整備狀況과 將來 計劃

(4) 所要 經費

各 制御方式을 採用하기 위한 경비, 例를 들면 計算機, 制御裝置 등의 設備費

그런데 現在 電壓 無效電力 制御의 趨勢는 前述한 바와 같이 個別 制御로부터 綜合制御에로 移行하고 있는 體制에 있으나 綜合制御로 되면 制御系가 相當히 複雜해지고 또 이에 따라 所要 經費도 相當히 커질 것이 豫想되고 있다.

特히 計算制御裝置로서 專用의 digital 計算機를 使用한다던가 傳送回線의 增設을 꾀할 경우 上記한 傾向이 顯著해지므로 期待效果와 아울러 그 採用의 可否를 愼重히 檢討할 必要가 있을 것이다.

다만 電子計算機라 하더라도 多目的 利用의 一環으로써 電壓 無效電力 制御를 위한 計算을 實施하고 또 傳送回線도 極力 增設할 것 없이 現在의 電送回線을 最大限으로 有效 利用하는 方法(1 例—時分割 傳送)을 考慮하므로써 所要 經費의 增加를 制御하면 實現될 可能性이 더 커질 것으로 생각된다.

要는 制御方式으로서 所要 man power가 極히 작고 制御系가 簡單하고 制御效果 역시 큰 것이 要望되고 있으므로 그저 經濟效果 重點 主義에만 치우쳐 그 方向을 그릇하지 않게 注意하여야 할 것이다.

(b) 適切한 運轉 基準電壓 및 그 許容 變動幅의 決定

合理的인 系統運用 및 下位配電系統에 있어서의 電壓制御에 對한 協調, 더 나아가서는 各 電壓階級, 接續된 需用家에 對한 電壓 維持 等의 觀點에서 送電系統에 있어서의 運轉 基準電壓 및 그 許容 變動幅을 어느 정도로 할 것인가? 또 어떤 手法으로 이것을 決定할 것인가 하는 것이 制御에 優先해서 決定되지 않으면 안될 것이다.

(c) 調整設備의 選定(主로 LRC와 調相設備의 比較 選定)과 그 配置

(1) LRC와 調相設備의 比較

어느 것을 採用할 것인가는 該當 變電所마다 兩者의 電壓調整效果, 送電損失에의 영향, 無效電力의 供給과 그 調整에 對한 寄與, 設備의 信賴性, 經濟性 其他에 對하여 그 變電所가 系統上 놓여 있는 立場을 充分히 考慮하여 綜合的으로 檢討하지 않으면 안될 것이다.

現在 LRC는 從前에 比하면 그 信賴性이 向上하고 維持費가 적어 또 設備費도 相當히 低減되고 있기 때문에 一般的으로 보아 電壓 調整上 상당히 優位性이 있다고 하겠다.

따라서 原則으로서 調相設備는 無效電力의 需給 balance上 必要한 量을 設置하기로 하고 電壓, 無效電力制御에는 LRC를 活用하는 것이 좋으리라고 생각된다.

(2) 調整設備의 適正 配置

特히 LRC를 어느 電壓 階級의 變電所에 重點的으로 配置할 것인가를 그 制御效果와 함께 考慮하여 檢討할 必要가 있다.

(3) 調整設備의 定格事項

各 變電所마다 系統上 놓여 있는 場所에 따라 外亂의 크기(電壓 無效電力變動) 調整設備의 調整效果가 相異되므로 LRC에 대하여서는 主로 1 tap 間隔과 全 tap 數, 調相設備에 있어서는 1 bank 容量과 bank 數를 上記 事項과 關聯하여(將來 系統도 想定하여) 適切하게 決定할 必要가 있다.

(d) 發電所의 運轉方式

系統의 電壓, 無效電力 制御라 하는 觀點에서 從來의

運轉 곧 各 發電所의 運轉方式으로서는 ATR 運轉, AQR 運轉, 計算機制御에 依한 運轉 등의 여러가지 方式이 생각되지만 各 發電所의 特徵(送電損失에 對한 영향의 정도, 需用地點과의 近接 정도, 系統容量에 weight) 應하여 系統上의 立場에서 適切한 方式을 檢討할 必要가 있다.

(1) 長距離 送電線(送電損失의 큰 line)에 接續된 主要 水力發電所는 AQR 運轉

(2) 短距離 送電線에 接續된 水力發電所는 AVR 運轉

(3) 特히 小水力發電所는 AVR 없음

또 火力發電所는 一般的으로 보아 水力發電所에 比하면 發電所 容量이 크고 또 需用地點에 가깝기 때문에 系統 全體로 본 合理的인 無效電力 配分制御 運用을 行하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 따라서

(4) 主要 大容量 火力發電所는 綜合制御의 一環으로서 運轉

(5) 小容量 局地 火力發電所는 適當히 AVR 또는 LDC (Line drop compensation)運轉(特殊한 경우에는 AQR 運轉)할 것이 要望된다.

(e) 電壓, 無效電力制御의 merit 評價

採用이 想定된 制御方式에 對하여 service level 向上의 정도(電壓 service) 系統 運用上 얻어지는 技術的 merit 및 經濟的 merit에 對하여 檢討할 必要가 있을 것이다.

(f) 其 他

連絡線 融通 無效電力의 契約 條項의 整定과 그 制御方式 "電壓—無效電力制御와 負荷, 周波數制御와의 協調" 目的 函數의 選定과 取扱 및 實用化에 있어서의 諸問題, 一例를 들면 系統定數와 制御 error의 修正方法, 監視裝置, 保護裝置 등의 여러가지 問題가 있다.

5. 結 言

以上으로서 電力系統의 經濟運用 및 電壓 無效電力 制御의 槪要를 說明하였다.

끝으로 系統의 自動操作에 關하여 조금 說明할까 한다. 系統의 自動操作은 電力系統의 모든 事態에 對處하여 適切히 發, 送, 變電設備의 併入, 解列하므로써 系統運用의 基本條件인 信賴性, 經濟性 및 安全性을 確保하고져 하는 것이다.

從來까지는 系統運用者(給電所員)가 系統狀態에 應하여 各 發, 變電所에 操作 指令을 傳達하거나 遠隔制御하는 경우가 많았는데 系統이 複雜, 大規模가 되면서 適應性이 不足하게 되었고 特히 事故後의 適確 迅速한 系統 復舊操作에 對하여 要求가 高度해 짐에 比例하여 人爲的 運用으로는 限界가 생기게 된 結果 系統操作의 自動化가 漸漸 크게 要望되고 있는 것이다.

따라서 現在 그 要求度가 가장 높은 事故後의 自動 復舊裝置에 對하여 開發 硏究가 開始되어 漸次 全 自動化에의 構想이 세워지고 있다.

마지막으로 本稿 作成에 있어 中央電力硏究所 尾出和也氏의 協力이 컸음을 付言하면서 以上으로 簡單히 마치고져 하는 바이다.

(1965年 6月 18日 接受)

(註) 本 原稿는 1965年 6月 4日 韓電 講堂에서 韓電 技術系 社員에게 行한 講演의 要旨이다.