

電力系統의 計算機制御

— 차례 —

- 1. 緒 論
- 2. 電力系統의 安定制御의 意義
- 3. 電力系統의 運用狀態
- 4. 定常狀態의 安定制御
- 5. 緊急狀態 및 回復狀態의 安定制御
- 6. 電力系統計算機制御 하이드웨어 시스템
- 7. 電力系統計算機制御 소프트웨어 시스템
- 8. 結 言

1. 緒 言

電子計算機와 그 活用技法의 進歩와 더불어, 電力系統의 計劃 및 運用에의 電子計算機 活用問題는 電力系統工學의 큰 技術的 課題로 登場하고 있으며, 先進 各國에서는 이미 이 分野에서 多大한 成果를 거두고 있다. 最近 우리나라에서도 그 實效性을 점차적으로 認識하게 되어 批처리(batch processing) 방식에 依하여 電力潮流計算, 故障解析, 經濟給電 等の 技術的 問題의 解析에 더러는 電子計算機를 活用하고 있으며, 現在는 韓電系統의 自動經濟給電 및 自動周波數制御를 위한 하이드웨어(hardware)의 導入, 設置와 이에 所 要되는 소프트웨어(software)의 開發을 위한 準備作業을 서두르고 있다.

그러나, 이 分野는 先進 各國에 있어서도 아직도 初期의 단계를 벗어나지 못하고 있어, 電子計算機中心의 電力系統制御(computer-oriented power system control)에 關聯된 系統構成原則(system philosophy), 하이드웨어, 소프트웨어, 通信方法等에 있어서 어떤 統一된 基準이 없을 뿐만 아니라, 이미 理論의으로 確立된 여러 새 着想(idea)이 實際로 適用되고 있는 경우가 그다지 많지 않은 實情이다.

各國에서 現在까지 電力系統制御所(power system control center)에서 電子計算機가 遂行하고 있는 主要項目을 列擧하자면 大略 다음과 같다.

- a) 데이터 收集(acquisition) 및 表示(display)
- b) 狀態推定
- c) 自動電壓—無効電力制御
- d) 自動經濟給電
- e) 負荷豫測
- f) 貯水池運用
- g) 揚水調節

- h) 起動停止(unit commitment)
- i) 補修計劃

그러나 新規로 設置되고 있는 制御시스템에는 上記項目의 機能以外에도 電力供給의 安定性 維持를 制御目標로 하는 電力系統安定制御(power system security control) 機能을 追加하려는 試圖와 計劃이 進行되고 있다.

筆者는 이와 같은 現추세를 勘案하여, 電子計算機에 依한 電力系統制御를 主要 安定制御의 側面에서 그 意義와 內容을 記述함과 同時에 이와 關聯된 最近動向을 紹介코저한다.

2. 電力系統의 安定制御의 意義

電力系統의 安定制御(security control)라 함은 電力系統에서 異常狀態가 發生하여도 適切한 對策을 講究함으로써 系統의 安定性을 維持할 수 있도록 電力系統을 制御함을 뜻하며, 日本에서는 이를 電力系統의 信賴度制御로 번역하고 있다.

從來의 系統 信賴度 對策은 오로지 給電運用者의 判斷에만 依存하여 왔으나, 電力系統이 大規模化 및 複雜化함에 따라 事故의 樣相이나 波反影響에 따른 適切한 防止對策의 迅速한 決定 및 講究에 있어서 사람의 判斷力으로서는 限界를 느끼게 되었다. 따라서 最近에는 電子計算機를 論理的 判斷裝置로 하는 電力安定供給을 위한 系統監視 및 制御의 自動化를 指向하기에 이르렀다.

一般的으로 말해서, 電力系統運用의 目標는 時時刻刻으로 變動하는 環境에 對應하여

- a) 適正電壓(電壓—無効電力制御)과 適正 周波數(周波數—有効電力制御)
- b) 되도록이면 經濟的(自動經濟給電)으로
- c) 一定水準의 電力供給 信賴度(安定制御)를 維持하면서

*正會員 · 서울工大教授(工博) · 當學會事業理事

需用家に 電力을 供給하는데 있으며, 이를 圖示하면 그림 1과 같다.

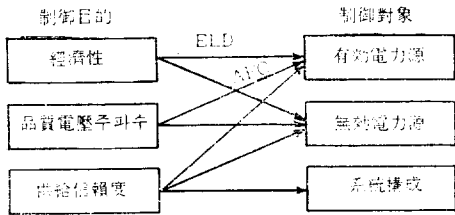


그림 1. 電力系統의 制御目的 및 制御對象

3. 電力系統의 運用狀態

美國 Cleveland Electric Illuminating 會社의 Tom Dyliaacco의 分類方法에 依하면, 電力系統의 運用狀態는 定常狀態(normal state), 緊急狀態(emergency state) 및 復舊狀態(restorative state)로 區分된다.

定常狀態는 電力受給이 均衡을 維持하고 있는 狀態를 뜻하며, 이 狀態에서 系統은 安定할 수도 不安定할 수도 있다. 이 때 系統의 線路故障이나 發電機 脫落 등의 事故로 緊急狀態로 移行하게 되면 그 系統은 不安定(insecure)하다고 한다. 緊急狀態는 다시 定常緊急狀態(steady-state emergency)와 動的安定度緊急狀態(dynamic-stability emergency)로 나누어지는 바 前者는 系統이 모든 負荷에 電力을 供給할 수 없거나, 供給이 可能하더라도 一部の 電力機器에게 過電壓 등의 위험을 주게 되는 狀態를, 後者는 同期運轉이 위험을 받게 되거나, 또는 電力供給力의 不足으로 系統周波數가 下降하는 狀態를 뜻한다. 制御作用에 依하여 緊急狀態의 終了後, 系統이 다시 定常狀態로 復歸된다면, 이 復歸後의 狀態를 回復狀態라 부른다.

4. 定常狀態의 安定制御

定常狀態에서 安定制御시스템(security control system)이 遂行하는 機能으로서는 安定監視(security monitoring), 安定解析(security analysis) 및 安定最適化(security-constrained optimization)의 3 機能을 들 수 있다. 安定監視는 現動作狀態의 식별(identification) 및 表示(display) 過程을 뜻하며 安定解析은 앞으로 系統에 異常이 생기면 系統이 緊急狀態에 突入할 것인지 아닌지를 判別하는 過程을 뜻한다. 判別 結果 “yes”이면 現系統狀態가 不安定(insecure)한 것으로 보고, 安定化를 위한 適切한 對策을 講究한다. 끝으로 安定最適化는 이 最適對策을 計算 決定, 實行하는 過程으로서 例를 들면 停止狀態에 있었던 發電機의 起動, 負荷制限, 變壓器 탭 또는 電力론에서 뱅크의 切換 등이 過

程에서 遂行된다.

5. 緊急狀態 및 回復狀態의 安定制御

緊急狀態 및 回復狀態의 安定制御도 理想的인 시스템에서는 上述한 바와 같은 3 機能을 모두 包含하여야 하나 現在까지의 開發狀況으로서는 系統을 正常狀態(normal state)로 復歸시키는데 制御의 主眼點을 두고 있는 實情이다.

例를 들면, 事故發生으로 緊急狀態에 突入하면 系統의 保護裝置의 機能에 依하여 事故區間의 迅速한 遮斷이 이루어지고, 곧 이어서 系統安定制御단계에 들어간다. 이 단계에서는 事故의 擴大 乃至 波及 防止를 目的으로 計算機가 介入하여 過負荷, 周波數異常, 電壓異常 등의 系統障害에 對하여, 負荷遮斷, 發電機投入 또는 系統構成 變更 등의 障害輕減 對策의 表示(display) 또는 制御를 行하게 된다.

表示裝置에 表示된 方案에 따라 系統操作員이 對策을 講究하거나, 또는 計算機에 依하여 自動적으로 制御되어 系統이 回復狀態에 이르게 되면, 곧 復舊制御가 行하여지게 되는데, 이 復舊制御에서는 事故로 因한 變則系統을 正常系統으로 復歸시키는 制御를 그 目的으로 한다. 그러나 現存의 技術水準으로서는 各地域마다 設置된 自動復舊裝置 또는 小形計算機 등의 適用으로 局部的인 操作이 行해지고 있는 程度이며, 全系統을 對象으로 하는 總體的인 復舊制御는 아직 요원한 實情이다.

6. 電力系統計算機 制御 하아드웨어시스템

電子系統計算機制御用 하아드웨어 시스템(hardware system)은 다음과 같은 機能을 具備하여야 할 뿐만 아니라 이들 機能間에는 相互 協調 體制가 完備되어야 한다.

- a) 自動監視 및 表示機能——환경변화와 電力系統의 運用 및 制御狀態를 監視하고, 또 그 結果를 操作員이 볼 수 있도록 表示하는 機能
 - b) 論理判斷 및 情報處理機能——電力系統의 運用 및 狀態變化에 對하여 對策을 決定하고, 이를 實行하기 위한 制御指令을 發하는 機能 및 自動監視, 表示, 論理判斷 및 記錄作成에 適合하도록 原始情報를 處理하는 機能
 - c) 制御機能——制御指令에 따라 電力系統을 實際로 制御하는 機能
 - d) 情報傳送機能——電力系統의 各部分 制御所間에 情報 및 制御指令을 傳送하는 機能
- 그리고 이상 諸機能을 遂行하기 위한 시스템 構成方

式으로서는 集中制御方式(centralized control system)과 階層制御方式(decentralized control system)의 2方式을 생각할 수 있다.

兩方式은 各其 長短點이 있겠으나, 現 추세로 보아 階層制御方式이 現實的인 方式으로 認識되고 있다. 中央의 1個所에서 全系統의 情報를 모아서 計算機로 處理하여 全系統을 制御하는 集中方式은 技術的으로나 經濟的으로 難點이 많을 뿐만 아니라, 制御시스템 自體의 信賴度 維持에도 問題가 많다. 이에 比하여, 局地

的情報단으로서 判斷, 操作이 可能한 것은 下位의 計算機로서 處理하고, 綜合的인 情報에 依하여 比로소 判斷이 可能한 것만을 上位의 計算機로서 處理하고 階層(分散)方式은 上述의 難點을 解消할 뿐만 아니라, 電子計算機시스템의 小形化 및 階層化 추세에도 附合되므로, 앞으로는 이 階層方式이 盛行될 것으로 豫見된다.

그림 2는 電力系統制御를 위한 階層制御시스템의 一例를 表示한 것이다.

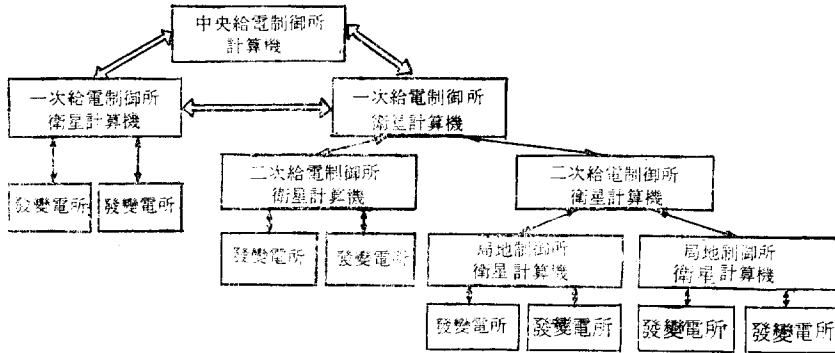


그림 2. 電力系統의 階層制御시스템

그리고 電子計算機中心의 電力系統 制御를 위해서는 (특히 中央給電制御所의) 計算機시스템은 系統狀態의 變動이나 給電要員의 要請에 卽應하여 必要한 措施를 行하고 또 系統監視, 表示, 解析, 制御等의 機能을 制約된 時間內에 迅速히 遂行하여야 하고 數百個 以上の 프로그램이 適期에 處理되어야 한다. 따라서 이와같은 要件에 맞는 計算機 시스템은 高速데이터收集시스템을 갖춘 高性能 온타인 리얼타임 (On-line real time) 方式에 依據하여야 함은 勿論이며, 인터럽트 機構(interrupt mechanism)와 더불어 多重프로그래밍(multiprogramming)技法의 適用이 必須的이라 하겠다. 그리고 경우에 따라서는 多重處理(multiprocessing)方式이 不可避할 경우도 想定할 수 있다.

7. 電力系統計算機制御 소프트웨어 시스템

電力系統計算機制御를 위한 소프트웨어 卽 프로그램 시스템은 大別해서 管理프로그램(Control programs)과 處理用 프로그램(Programs for processing)으로 大別되며, 後者は 다시 言語번역용 프로그램(language processors), 유틸리티 프로그램(Utility programs), 應用프로그램(application programs) 등으로 細分되는데 應用프로그램을 除外한 一切의 오퍼레이팅 시스템(operating system)은 計算機製造社에서 共通的으로 供給되므로 여기서 特別히 論할 必要가 없다. 그러나, 電力系統에만 適用되는 各種 應用프로그램은 電力系統

計劃 및 運用業務에 從事하는 專門家가 開發, 購入 및 活用하여야 하므로 아래에 그 主要 種目中 第1節에서 列擧한 項目以外的 것에 對한 開發狀況을 紹介한다.

- a) 電力潮流計算프로그램 — 系統計劃과 運用의 基本的 資料인 電力潮流 및 부스電壓을 計算하는 電力潮流計算프로그램은 現在 2,000부스 또는 그 以上 規模의 것도 處理 可能한 汎用프로그램도 實用되고 있다. 어떤 것은 發電端 부스電壓調整, 變壓器 變換, 電壓—無効電力의 調整, 또는 連系線 潮流 調整 機能을 附加하고 있으며, 더욱 發展된 프로그램은 費用函數 最小條件을 充足하도록 調整 可能파라미터(Controllable parameters)를 調整 함으로써 最適 電力潮流를 計算하도록 되어 있다.
- b) 過渡安定度計算프로그램 — 線路故障, 發電機脫落, 負荷分離 等の 系統 狀態, 急變時, 이 系統의 動搖가 適切한 對策의 講究 後 다시 安定狀態로 回復할 것인지의 與否를 系統計劃 및 操作員은 미리 알아야 한다. 이에 對한 解答을 주는 것이 바로 過渡安定度計算프로그램의 機能이다. 그러나, 不幸하게도 現在까지의 過渡安定度計算프로그램은 온라인(On-line) 制御用 또는 卽時 對策 講究用으로 使用하기에는 解答에 이르는 計算時間이 너무나 길어 거의 實用性이 없다. 더욱이 그 計算結果值가 어느 程度 正確한 것인 지를 檢證하기 위하여

實測値와 比較한다는 것은 거의 不可能하다. 現在 外亂(disturbance)後 數分동안까지의 長期間의 動搖狀態를 시뮬레이트하는 새 數理模型의 誘導 및 프로그램의 開發에 努力을 傾注하고 있으나, 이 역시 온라인 리얼타임용으로 實用하려면 아직 相當한 時日이 所要될 것으로 본다.

c) 서어지計算프로그램 — 開閉器動作, 線路故障, 雷擊 등에 基因한 系統의 過渡 電磁的 異常電壓의 計算은 合理的 絕緣協調의 圖謀, 隣近 通信線에 對한 誘導障害의 輕減對策의 講究 其他 電力系統의 過渡問題의 解決에 必須의이다. 1930年代 以來 이 異常電壓 卽 서어지(surge)의 計算은 주로 아나로그형(analog type)의 計算盤에 依存하여 왔으나 系統이 大規模化 및 複雜化 하여짐에 따라, 最近에는 보다 正確한 解答을 얻을 수 있는 디지털 計算機法을 使用하기에 이르렀다. 그러나 計算速度가 늘어 온라인 리얼타임시스템에서 實用하기에는 아직까지는 非現實的이다. 그리고, 變壓器, 同期機, 아아크 現象 等の 過渡數理模型의 樹立法도 實現象을 正確하게 記述하려면 앞으로 相當한 時日이 所要될 것으로 보고 있다.

따라서, 上述한 바와 같이 現在로서는 뱃취處理(batch processing)로서만 處理possible한 電力系統 시뮬레이션 프로그램을 電力系統制御에 適用하는 現實的 方途는 大略 다음 2 方途에 依存하고 있다.

- a) 事例別事前計算結果의 리얼타임 利用 — 豫想되는 最惡條件 또는 代表의 事例를 想定한 후, 이들 各 경우에 對한 計算을 미리 오프라인(Off-line) 뱃취處理方式로 計算하여 그 結果와 對策까지를 記憶해 둔 後, 그 事例나, 그와 類似한 事例가 發生하면, 計算機는 온라인 리얼타임方式로 該當結果值와 對策을 判斷, 抽出한 후 制御指令을 發한다.
- b) 人間對機械의 直接對話 — 單純한 判斷이나 複雜한 計算은 電子計算機가 人間보다는 월등히 우월하나, 複雜한 狀況의 判斷이나 判斷의 응용성面에서는 人間이 우월하다. 따라서, 基礎的인 資料의 提供이나, 온라인 리얼타임으로 結果를 얻을 수 있는 프로그램의 實行은 計算機에 맡기되, 長時間을 要하는 計算은 그 中間까지의 不完全結果를 CRT 表示裝置等을 通하여 操作員에게 提供하면, 操作員은 그 밖의 系統 全般의 狀況과 過去의 經驗을 土臺로 하여 適切하다고 判斷되는 對策을 計算機에 指示한다. 그러면 計算機는 이 指示에 따라 制御指令을 系統의 該當 部分에 傳送한다.

따라서 眞正한 意味에 있어서의 電力系統의 安定制

御는 아직까지는 初創期의 단계를 벗어나지 못하고 있으며, 이것이 本軌道에 오르기 위한 先行條件은 計算機 自體 卽 하아드웨어의 性能改善에서 보다는 온라인 리얼타임 處理에 適合한 電力系統制御用 시뮬레이션(simulation) 技法과 應用프로그램의 開發에서 찾아야 할 것으로 보인다.

8. 結 言

以上 記述 및 紹介한 內容을 아래와 같이 要約할 수 있다.

- a) 電力系統의 計算機制御를 위한 하아드웨어시스템은 餘他的 온라인리얼시스템의 具備 條件인 高速性, 信賴性, 經濟性을 基底要件으로 하여, 同時에 多重프로그래밍, 多重處理가 可能한 汎用電子計算機를 母體로 하고 多數의 衛星計算機에 依하여 局地的 制御도 可能한 階層制御 시스템의 構成을 이루고 있는 것이 現 추세이다.
- b) 電力系統의 計算機制御는 電力系統의 安定制御가 그 主內容이나, 電力供給의 質(電壓, 周波數)을 一定水準으로 維持하면서, 가장 經濟的으로(燃料費 最小化), 電力을 安定된 狀態로 供給하는 것이 더욱 바람직하다. 그러나 現단계에서는 緊急狀態 및 回復狀態에서는 電力의 安定供給에만 主眼點을 두고 있는 實情이다.
- c) 電力系統의 安定制御의 機能은 狀態의 監視, 解析 및 安全最適化의 3 機能이며, 安定最適化 機能中的 制御指令도 리얼타임(real-time)으로 自動化하는 것이 窮極의 目標이나 現단계로서는 CRT 表示裝置等의 맨머신 인터페이스(man-machine interface)를 通하여 制御指令의 決定過程에서 操作員이 介入하는 것이 常例이다. 卽 電力系統의 安定制御는 아직까지는 프로세스制御(process control)의 단계에 이르지 못하고 오퍼레이션制御(operation control)의 特徵을 多分히 지니고 있다.
- d) 操作員의 判斷이나 介入을 줄이는 첨경은 하아드웨어의 改善보다는 電力系統리얼타임 制御에 充分한 程度로 處理時間이 短縮되는 電力系統制御用各種 應用프로그램의 開發에 있으며, 그 時期는 아직 遼遠한 것으로 展望된다.

參 考 文 獻

1. W. F. Tinney and M. K. Enns, "Controlling and Optimizing Power Systems" IEE Spectrum, pp. 56~60, June, 1974
2. 野田權祐 "電力系統의 信賴度制御" 日本電氣學會雜誌 Vol. 92, No. 7, pp. 12~18, 1972