

□ 技術動向 □

世界各國의 電力系統制御所 紹介

— 미국 발티모아 電力會社의 에너지 制御 시스템 (I) —

尹甲求* · 金榮漢** · 柳洪雨**

■ 차 례 ■

- 1. 머릿말
- 2. 概要
- 3. 시스템 構成
- 4. 소프트웨어
- 5. 進歩된 電力系統 應用

1. 머릿말

발티모아 가스·電氣會社(Baltimore Gas and Electric Co.)는 最近에 新에너지 制御所(New Energy Control Center)를 建立 하였다. 여기에 紹介하는 시스템은 本人들이 지난 82年11월에 美國의 콘트롤 데이터社(CDC)의 工場을 訪問 하였을 때 마침 工場引受 試驗을 完了하고 船積중에 있었던 最新技術의 에너지 制御시스템이다.

이 시스템은 2대의 大型 컴퓨터와 6대의 前端(front end)小型 컴퓨터가 2중화 되도록 構成되며 遠方監視制御와 資料取得 및 人間-機械連絡機能(SCADA/MMI function)을 補佐하는 基本 소프트웨어에 電力系統應用 프로그램과 進歩된 電力系統應用 프로그램이 附加된다. 그리고 給電員 訓練用 시뮬레이터(Dispatcher Training Simulator)가 制御시스템의 일부로써 追加되며 電氣事故 運用시스템(ETOS; Electric Trouble Operating System)도 이 事業의 일부로써 設置된다.

여기서는 에너지 制御시스템에 必要한 하드웨어

와 소프트웨어의 機能에 關하여 說明하고자 하며 特別한 機能을 가지고 있는 電力系統應用프로그램이 주로 다루어 질 것이다. 진보된 應用프로그램에 對한 獨특한 機能中에는 안전해석 계통반(Security Analysis Mapboard)과 母線 分離 시뮬레이션(Bus Splitting Simulation) 및 PJM 자료를 이용하는 狀態推定機(State Estimator)가 포함된다. 電力系統應用 프로그램에는 부하차단(Load Shedding)과 복구(Restoration), 그리고 전압감소(Voltage Reduction)와 같은 特別한 機能이 포함된다. 또한 이 부분에서 電氣事故를 處理하는데 사용되는 BG & E의 ETOS를 說明하게 된다.

위의 內容에 附加하여 給電員 訓練用 시뮬레이터, 에너지 기록(Energy Logging), 自動發電制御, 經濟給電, PJM 資料連系結合, 그리고 基本監視프로그램에 關하여 간단히 說明하고자 한다.

2. 概 要

BG & E는 株式會社로써 미국 동부에 위치하는 매릴랜드주의 약 2,300 평방마일의 地域에, 837천호의 住居用, 商業用, 産業用 受用家에게 電力을

*正會員 : 韓國電力公社 發電部 自動給電課長
 **正會員 : 韓國電力公社 發電部 自動給電課長代理

供給하고 있는 會社이다. 1980年의 最大需要는 약 3,820 MW였고 年間 販賣力量은 17,228 百萬 KWH 이며, 1990年의 最大需要는 5,480 MW 로 豫想되고 있다. 1980年 12月 現在 總설비용량은 약 5,000 MW이다.

BG & E는 PJM 즉 펜실베니아-뉴저지-매릴랜드주의 연계회사의 회원이고 포토맥 電力會社, 펜실베니아 電力會社, 필라델피아 電力會社, 그리고 펜실베니아 電氣會社와 連系되어 있다.

PJM은 中연계회사간의 發電力 分擔과 다른 電力풀(Power Pool)간의 連系線 潮流를 經濟的으로 運用하는 業務를 擔當하고 있다.

BG & E에서 現在 運用中인 制御시스템은 1962年에 設置되어 給電만을 擔當하고 있는 L & N社의 아날로그 시스템이다. 그리고 55개의 遠隔所 端末裝置(RTU's)가 3개소의 遠方監視制御센터로부터 現在 制御되고 있다.

新制御所는 1981年에 入住하고, 新에너지 制御 시스템과 함께 1982年末에 運轉에 들어 갈 豫정이었다. 이 시스템은 약 85개의 RTU's를 中央 集中 遠方監視制御하게 된다.

이 에너지 制御시스템의 仕様은 용역회사인 MA CRO의 도움으로 1977년말 BG & E에 의해서 作成되었으며 1979년 10월 CDC와 시스템 供給契約을 체결하였다.

3. 시스템 構成

에너지 制御시스템에 對한 하드웨어 構成은 各 컴퓨터에 電力系統解析, 人間-機械連絡, 그리고 監視制御와 資料取得과 같은 各 應用 프로그램이 적절히 配分되도록 設計된다. 하드웨어 構成의 概要는 그림 1에서 보여주는 바와 같이 그 基本構成은 2臺의 Cyber 170/730에 6臺의 Cyber 18 컴퓨터를 連結하도록 構成된다. Cyber 18 컴퓨터 중 4臺는 4線組 構成(QUAD configuration)을 갖고 에너지 制御시스템을 補佐하며 다른 2臺의 Cyber 18은 BG & E의 ETOS를 補佐하도록 2중으로 構成된다.

ETOS와 狀態推定機, 給電員 潮流計算等과 같은 進歩된 應用 프로그램은 주(Primary)모드와 후비(Back up)모드로 運轉되는 Cyber 170/730에서 실행된다. 주모드로 運轉되는 컴퓨터는 온-라

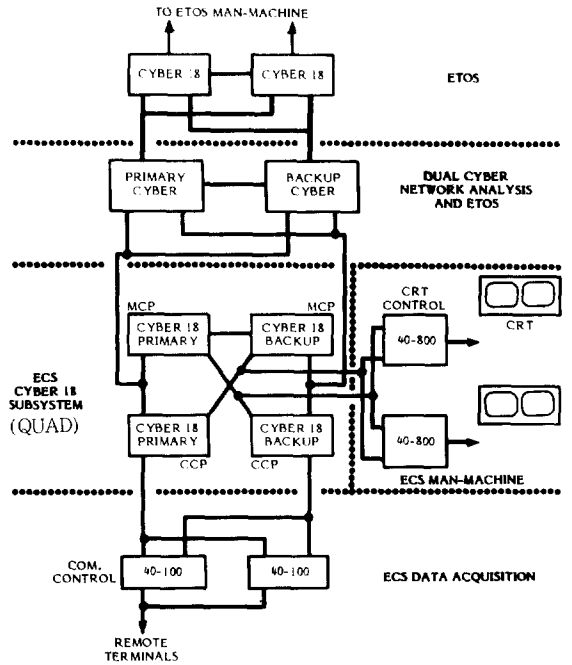


그림 1. 하드웨어 構成 概要

인 프로그램을 實行하고 후비모드인 컴퓨터는 오프-라인으로 프로그램 개발이나 試驗用으로 利用될 수 있다.

QUAD Cyber 18 컴퓨터는 주모드와 後備모드로 二重化되도록 雙으로 構成되며 後備모드로 運轉中인 컴퓨터는 主모드에 있는 컴퓨터가 故障이 發生하면 後備모드에서 主모드로 自動切替되어 運轉된다. QUAD Cyber 18의 各 雙의 컴퓨터는 機能的으로 主제어프로세서(MCP)와 通信制御프로세서(CCP)로 구분된다. 주제어프로세서는 自動發電制御, PJM 通信과 같은 實時間機能과 人間-機械連絡에 使用되고, 通信制御프로세서는 資料取得과 制御 그리고 MVA 線路潮流와 限界值 點檢과 같은 資料에 週期的인 計算을 수행한다. 通信制御프로세서는 40-100 처리結合 制御機와, RTU's와 通信을 行하는 40-115 프로그램가능 제어기/채널선택기와 結合한다.

主制御프로세서는 人間-機械連絡을 處理하는 40-800 制御機와 結合된다. 또한 이들 제어기는 음극선관 표시장치와 프린터에 通信을 行하고 운전기록(Logging)에 이용된다.

4. 소프트웨어

에너지 관리시스템의 소프트웨어는 4 계층으로 구성되어 있다. 최저계층은 시스템을 보조하는 소프트웨어로서 운용시스템, RTU's, PJM과의 통신, 시스템盤, 그리고 컴퓨터간의 통신과 같은 입출력 장치와 診斷소프트웨어를 포함하고 시스템에 사용되는 하드웨어와 直接結合된다.

소프트웨어의 두번째 계층은 應用補助 소프트웨어로서 基本應用프로그램을 補助하기 위해서 시스템소프트웨어를 使用한다. 이 소프트웨어는 資料管理, PJM 通信, 遠方監視制御, 資料取得 그리고 運轉員의 通信協助와 같은 一般化된 機能이다.

電力系統應用소프트웨어는 세번째 계층이고 이 소프트웨어는 하드웨어와 直接 結合되는 경우는 거의 없다. 이 소프트웨어의 계층은 補助소프트웨어

에 依해서 收集된 資料를 使用하고 給電員이 要求한 制御를 補助소프트웨어가 수행하도록 指示하며, 實時間制御와 監視機能, 給電員 解析, 에너지 記錄 등의 소프트웨어가 포함된다.

소프트웨어 構成上 最高位는 進歩된 電力系統應用과 ETOS 이다. 이들 소프트웨어는 온-라인 네트워크 解析, 研究네트워크 解析, 그리고 事故 解析프로그램이다.

5. 進歩된 電力系統 應用

進歩된 電力系統應用은 資料維持補修 온-라인 네트워크 解析으로 構成되며 이들 프로그램의 概要를 그림 2에 보여준다. 진보된 응용프로그램은 대체로 다른 應用프로그램과 2가지 方法으로 結合된다. 첫번째는 QUAD에 있는 資料取得장치로부터 取得된 資料를 狀態推定機에 傳達하는 것

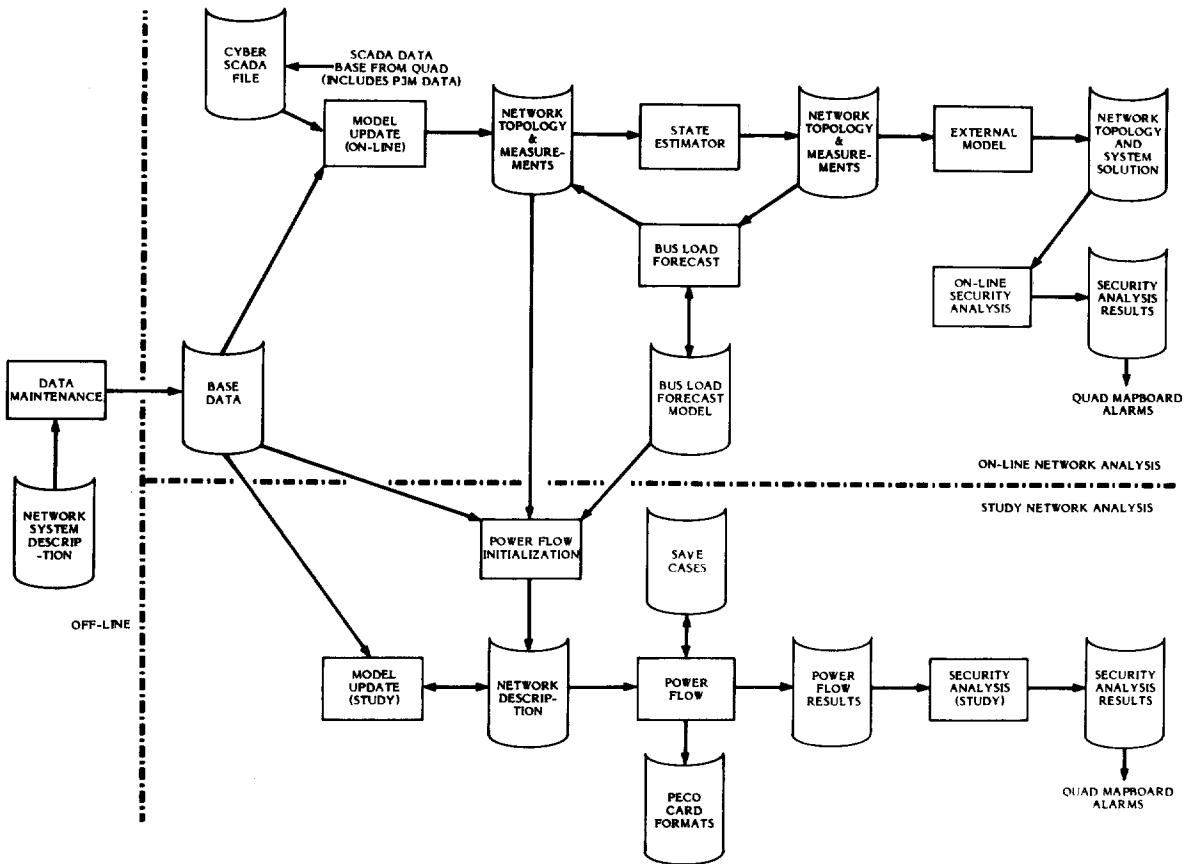


그림 2. 進歩된 電力系統應用 概要

이고 두번째는 安全解析이 警報와 系統盤 表示를 위해 結果를 QUAD에 傳送하는 것이다.

資料維持補修프로그램은 네트워크 解析 프로그램에서 필요한 네트워크 狀態資料를 生成하고 유지한다. 資料維持補修프로그램은 人間—機械連絡과 같은 補佐機能과의 通信을 爲하여 必要한 資料를 準備한다.

온-라인 네트워크 解析프로그램은 電力系統의 安全을 決定하고 네트워크에 대한 解答를 얻기 爲해서 現在의 電力系統狀態를 解析한다.

온 라인 네트워크 解析프로그램은 일정한 週기로 實行되고 또한 차단기 動作과 같은 事故發生이나 給電員의 要求에 따라 實行된다. 이 프로그램은 모델갱신, 상태추정기, 外部모델計算, 안전 解析, 그리고 母線負荷豫測을 포함한다.

研究네트워크 解析프로그램은 假定된 未來의 條件 아래에서 電力系統을 研究하는데 使用된다. 電力湖流計算, 그리고 母線負荷豫測을 포함한다.

가. 모델更新

모델更新은 다른 네트워크 解析 프로그램에서 使用될 온-라인 母線構成狀態모델을 更新한다. 母線構成狀態解析은 資料取得點에 對하여는 QUAD로부터 現在의 스위치狀態가 얻어지고 取得되지 않는點에 對하여는 給電員이 入力한 스위치 狀態를 基準으로 한다.

모델更新은 또한 상태추정기와 外部모델 프로그램에 利用되는 아날로그 값을 處理한다. 모델更新은 아날로그 값의 狀態나 그 品質이 적정한 것인지, 그리고 계속적인 處理를 爲하여 資料를 저장할 것인지 아닌지를 決定한다. BG&E에서 利用될 값의 형태는 기기의 유효전력 (MW)과 무효전력 (MVAR)의 크기, 전압의 크기, 位相變換기와 변압기 탭 位置, VHF 주파수로 制御되는 電力用 콘덴서의 스텝위치, 그리고 變電所 電力用 콘덴서의 개폐 상태이다.

나. 狀態推定機

狀態推定機는 만족 할만한 아날로그 測定값을 가지고 있는 네트워크의 각부분에 대하여 定態狀態네트워크를 解析하는데 利用된다. 만족 할만한 測定값을 가지고 있지 않는 네트워크의 각부분은 外部모델 프로그램에 의해서 解析된다. 조합된 狀

態推定機와 外部모델의 結果는 安全解析프로그램에 利用될 基本케이스를 準備한다.

온-라인 네트워크 解析을 準備하는데 부가하여 狀態推定機는 資料取得測定系統의 유지보수를 돕기 爲하여 測定器의 偏倚評價 (Bias Estimation)와 測定器의 이상상태를 검출한다. 이상상태 검출은 큰오차를 가지고 있는 測定값을 검출하는데 使用되고 偏倚評價는 測定값에 작으나 持續的인 測定誤差가 존재하는 가를 決定하기 위해서 使用된다. 화면표시 (Display) 시리즈는 現在狀態要約, 과거의 이상상태, 및 偏倚情報를 제공한다. BG&E에서는 狀態推定機가 PJM資料 連系로부터 얻어진 情報를 處理하고 PJM의 일부에 대하여도 네트워크 解析을 행한다. 이 추가된 資料는BG&E의 外部네트워크모델이 더욱 정확하게 동작되도록 한다. PJM情報는 選定된 500 KV 變電所의 200개 가량의 資料로서 아날로그와 디지털資料로 構成된다. 다른 PJM 資料는 앞으로 그 資料가 必要할때에 處理될 것이다.

다. 母線負荷豫測

母線負荷 豫測은 특정시간에 대한 母線負荷를 豫測할 수 있는 機能을 가지고 있으며 使用者에 따른 특정일의 負荷形態와 時間別 負荷配分係數 데이터베이스를 가지고 있다. 부하에측은 총부하, 날자에 따른 負荷形態, 그리고 時間을 指定하므로써 實行된다.

이 능력은 상태추정기 모델에 있는 모든 外部母線의 負荷를 計劃하기 위하여 外部모델에 의해서 使用된다. 또한 電力湖流計算도 母線負荷를 計劃하는 母線負荷豫測 프로그램을 利用한다. 마지막으로 상태추정기가 가상의 負荷測定을 行하고 每時間 負荷配分係數를 부드럽게 하는 것에 의해서 負荷配分係數를 向上시키도록 母線負荷豫測情報를 使用한다.

라. 外部모델 計算

外部모델 計算은 安全解析에 의해서 使用될 네트워크의 定態狀態解析을 完成한다. 標準 電力湖流計算 技術은 상태추정기의 外部네트워크 各部分에 대한 解析을 얻기 위해서 使用되고 全體는 解析된 온-라인 네트워크로서 저장된다.

外部모델은 네트워크 境界附近(회사와 회사사이)

에 대하여 正確한 解析을 얻기 위하여 內·外部 네트워크 사이에 있는 境界母線에 대한 電壓과 位相은 상태 추정기로부터 推定된 값을 使用한다. 그리고 電力潮流計算의 入力으로서 外部系統 母線에 대하여는 예측된 부하와 發電出力을 使用한다.

外部모델은 PJM 資料連系를 통해 얻을 수 있는 測定된 外部會社 負荷와 發電出力을 使用하며 또 한 차단기 狀態도 使用한다.

마. 네트워크 簡略化

想定事故가 모의되기 전에 네트워크 簡略化運用이 네트워크 모델을 보다 작은 크기로 簡略化시킨다. 네트워크의 크기를 簡略化시키는 것은 네트워크의 어떤 部分이 유지되도록 하기 위해서 行해진다. 이들 部分은 停止된 (Outaged) 枝線 (Branches) 가까이 連結된 母線과 變亂 (Violation)이 점검되는 枝線, 그리고 모든 發電機母線을 포함한다.

바. 安全解析

安全解析은 電力系統에 對하여 記述된 想定事故의 영향을 評價하는데 使用된다. 運轉員은 주어진 現在の 네트워크 運轉條件에서 發生될 수 있는 問題들을 準備하고, 이들 問題를 온-라인 네트워크 解析이나 研究電力 네트워크 解析으로부터 얻어진 基本케이스를 이용하여 實行시킨다.

安全解析은 두개의 모드 즉 온-라인 네트워크 解析모드와 研究모드에서 實行된다. 온-라인 네트워크 해석모드에서 프로그램은 온-라인 시퀀스의 일부로서 自動적으로 實行된다. 研究모드에서는 手動要請에 의해서만 實行된다. 安全解析은 電力系統 想定事故에 의해서 發生되는 定態狀態를 얻기 위해서 빠른 潮流計算 技術을 使用한다. 各 解析結果는 정의된 限界에 대한 變亂이 점검되므로 運轉員은 變亂畫面을 통하여 이를 볼 수 있다. 음극선관 화면은 要約畫面에서 各 送電線路의 양 방향에 대한 가장 심각한 過負荷를 보여 준다.

또한 安全解析의 結果를 動的系統盤에 表示할 수 있다. 想定事故가 發電機의 脫落事故일 境遇, 脫落된 發電機出力은 참여율에 따라 配分된다.

BG & E에 使用된 特別한 裝置는 다음과 같다.

○ 母線分理 模擬 (Bus Splitting Simulation)
 , 線路和 變壓器中 어떤 枝線은 데이터 베이스에서

母線을 分離할 수 있는 것과 없는 것으로 分類된다. 이들 枝線中 한개의 事故가 想定事故로 나타날 경우 그 想定사고는 母線이 分離될 可能性을 解析하고 必要하다면 그 解析結果는 母線分離를 모의한다.

“예”

安全解析은 研究된 各 想定事故에 대하여 기기 사고를 모의하는 것에 의해서 電力系統 네트워크를 수정한다. 母線分離도 事故模擬의 일종일 수도 있다. 母線分離를 正確하게 模擬하기 위해서는 變電所 차단기 수준에서 토폴로지 解析이 行해져야만 하기때문에 대부분의 安全解析 알고리즘은 母線分離를 고려하지 않는다.

母線分離條件의 일례를 그림 3.에 보여 준다.

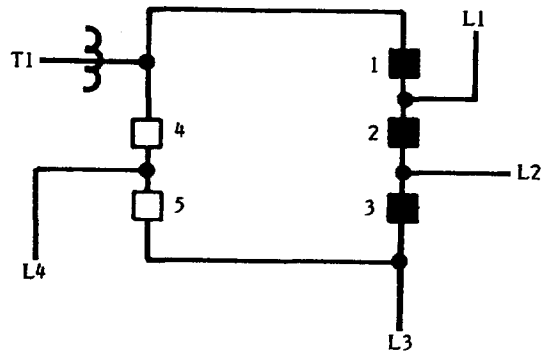


그림 3. 변전소 예

차단기 4와 5는 개로상태이고 線路L 4는 보수를 위하여 分離되어 있다고 가정한다. 그런데 線路L 1, L 2와 L 3, 그리고 變壓器 T 1은 같은 母線에 連結되어 있다. 만약 安全解析이 線路L 1에 대하여 事故模擬를 行한다면 차단기 1과 2는 개로되어야 한다. 그결과 母線은 두개 母線 즉 變壓器 T 1에 連結된 母線과 線路L 2와 L 3에 連結된 母線으로 分離된다. 使用된 安全解析프로그램은 모의된 事故에 대한 連結된 기기를 正確하게 結定하도록 차단기 수준에서 토폴로지 (Topology)해석이 수행되지 않는다면 變壓器T1은 線路L 2과 L 3에 連結된 것처럼 不正確하게 模擬되게 된다.

○ 變亂報告 (Violation Reporting) ; 模擬된 想定事故에서 限界值 超過 與否를 네트워크 要素에 대하여 점검한다. 각 요소에 대한 모의된 想定사고

중에서 가장 심한 限界值 超過를 發生한 想定事故는 限界值 超過의 크기를 出力한다.

○ 限界值 交替(Limit Exchanging); 想定事故 解析에 使用되는 枝線容量 MVA 限界는 다섯가지로 構成되며 그들은 警告限界, 正常限界, 24時間限界, 4時間限界, 그리고 負荷遮斷限界이다. 想定事故 解析은 想定事故 画面을 通하여 이들 5가지 限界中에서 運轉員이 選擇한 限界가 使用된다.

○ 系統盤 結合(Mapboard Interface); 安全解析은 動的 系統盤에 結合되어 모든 憂亂點檢目錄要素에 대한 想定事故를 系統盤에 順次的으로 表示할 것이다.

사. 研究모델 更新

研究모델 更新프로그램은 研究모드에 있는 입력 장치상태로부터 전력조류 네트워크 모션모델을構成하기 위해서 사용된다. 入力裝置狀態는 온-라인 狀態 또는 저장케이스 狀態로부터 초기화 된다.

아. 電力潮流計算

安全解析과 結合된 電力潮流計算 機能은 未來 네트워크 條件을 모의하거나 여러상황의 運轉狀態를 실습하기 위해서 사용될 수 있는 研究네트워크解析시스템을 準備한다. 電力潮流計算은 運轉員이 研究하기를 원하는 네트워크 條件을 기술하도록 허용하는 入出力 루틴의 확장세트를 포함하고 있으며, 資料 初期化(Initialization), 發電 計劃, 負荷 計劃, 限界 計劃, 解析 制御 등 다섯가지 基本機能이 있다.

資料 初期化는 저장케이스의 수정이나 基本케이

스 研究를 위하여 온-라인 네트워크 狀態의 수정을 포함한다. 發電計劃에서는 發電機 出力이 PJM 負荷와 連系線 潮流에 符合하도록 配分된다. 發電機의 要求電壓은 會社負荷를 基準하여 入力되거나 計劃된다. 負荷計劃은 母線負荷豫測 機能을 사용하여 母線負荷 計劃에 依하여 얻어진다. 機器의 母線電壓에 대한 限界는 運轉限界 計劃 機能을 사용하도록 指示된다. 마지막으로 解析制御는 電力潮流計算 解析 프로그램을 實行하도록 한다. 電力潮流計算에 사용되는 解析알고리즘은 세단계 즉 初期, 可能, 區別단계로 構成되어 있다. 初期단계에서 누튼 電力潮流計算은 限界에 무관하게 解析된다. 初期단계가 끝나고 可能단계에서는 모든 限界點內에서 만족하도록 변수에 대한 계수를 바꾸어서 可能的 최적점을 찾도록 한다. 區別단계에서는 電力潮流計算이 수렴된 다음 허용 할 수 있는 가장 가까운 값으로 탭이나 스텝을 구별한다.

다음과 같이 特別한 몇개 機能이 BG&E의 潮流計算에 사용된다.

- 1) 發電機는 원격모션 電壓을 제어할 수 있다.
- 2) 發電機 무효전력은 零보다는 커야되고 다른 可能的 解決方法이 있으면 負값으로 되지 않는다.
- 3) 電壓制御用 電力用 콘덴사는 단계적으로 制御되는 無効電力制御 변수로써 작용된다. 이能力은 母線에 설치된 電力用 콘덴사나 配電 電力用 콘덴사가 VHF 무선 자동제어에 의하여 제어되도록 한다.
- 4) 出力카드 형식은 BG & E의 배치 (Batch) 처리용 計劃電力潮流計算 프로그램과 함께 필라델피아전력회사 (PECO) 형식으로 출력된다.

(다음 호에 계속)