電力系統制御·保護 시스템

1. 머리말

오늘날 전력에너지는 우리들 生活의 基盤이 되고 있어, 供給의 安定性과 品質向上에 대한 要求는 높아만 가고 있다. 해마다 늘어나는 需要伸張에 대응하여 設備의 확충 및 機能향상을 도모함과 동시에 高品質의 電力供給 확보를 위한 에너지利用效率의 향상을 꾀하고 있으며, 電力系統의 資源 및 設備의 신속·적정한 運用·制御가 더욱더 중요하게 되고 있다. 그림 1에 電力系統의 運用·制御를 위한 시스템으로서의 電力系統制御 및 保護의 位相을 표시한다. 電力系統은 發電端으로부터 需要端에 電力을 수송하는 流通시스템이지만 실제로는 面的으로 넓은 네트워크이고 制御·保護시스템도 階層化되어 서로간에 通信네트워크로 연결되어 있다.

本稿에서는 電力系統制御·保護시스템의 최근의 인텔리전트化의 動向을 기술하고 실시예를 몇 가지 소개한다.

2. 電力系統의 制御 및 保護

2·1 基本機能

電力系統制御 및 保護에서 요구되는 機能을 系統의 상태와 대응시켜 표시한 것이 그림 2이다. 여기서 말하는 制御란 自動으로 행하는 範圍만으로 限定시키지 않고 운전원의 操作을 포함하며, 다음의 3種類로 분류된다.

(1) 豫防制御

運轉余裕의 減少로 인한 긴급상태에 돌입하지 않도록 制御한다.

(2) 緊急制御

事故 등이 발생하여 긴급상태로 되었을 때, 異常部分을 保護裝置에 의하여 自動的으로 분리하여 系統의 安定化를 기하는 制御를 한다.

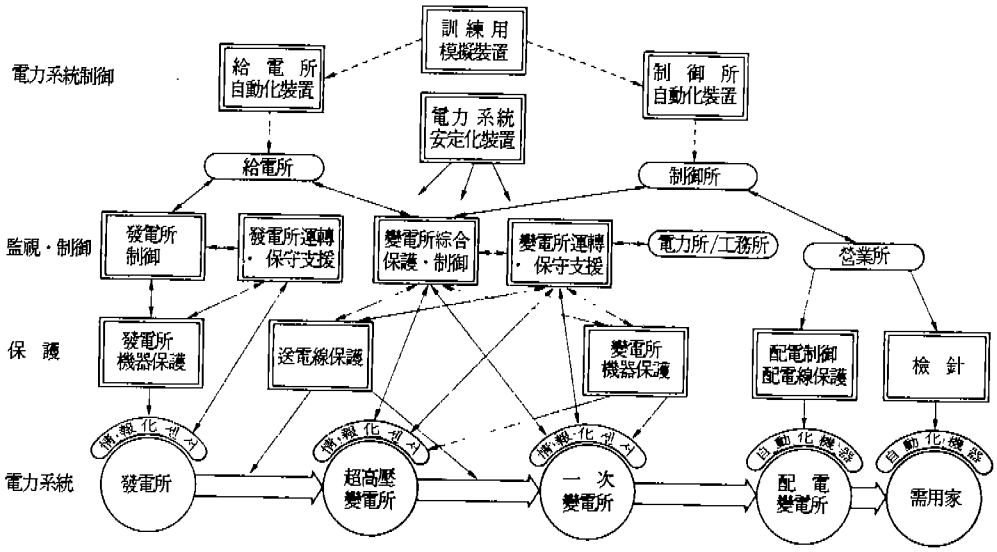
(3) 復舊制御

緊急制御한 후에, 停電을 포함한 복구상태에서 目標系統으로 복구시키는 制御를 한다.

系統의 監視·計測은 廣義의 센서에 의하여 監視情報를 얻는 수단이며, 制御의 모드別로 표 1과 같이 필요한 情報가 分類된다.

2·2 인텔리전트化

電力系統制御 및 保護시스템은 언제나 그 시대의 最新技術을 導入하여 시스템化를 도모하고 있다. 인텔리전트化에 대해서는 다음의 네



<그림 1> 電力系統制御・保護의 位相

가지 方向을 들 수 있다.

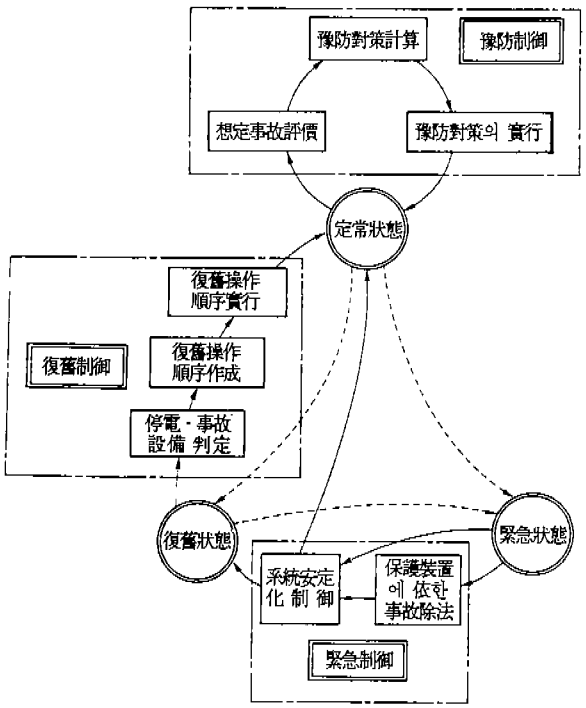
・自動化指向 : 종래의 高速化・高精度化를 목적으로 한 機械化를 더욱 발전시킨 것. 궁극에는 人間이 행하고 있는 業務의 最終判斷도 대행하는 것.

・業務支援指向 : 人間의 業務를 支援하고, 最終判斷을 人間에게 맡기는 것.

・어플리케이션指向 : 合目的的으로 시스템化함으로써 機能을 追求하는 것.

・펌웨어指向 : 共通基盤技術로 複合化, 統合化를 도모한다. 또는 맨머신性의 向上 등을 기하는 것

이들 인텔리전트化의 方向에 착안하여 기본적인 시스템例와 그 基盤이 되는 技術을 나타낸



<그림 2> 電力系統狀態와 制御 모드

<표 1> 電力系統의 監視・計測

項 目	豫防制御	緊急制御	復舊制御
電氣量情報	◎	◎	○
系統接續情報	◎	○	○
機器情報	○	○	◎
事故情報	−	◎	◎
記錄情報	◎	○	◎
計劃情報	◎	○	○

注 ◎ : 必須情報
○ : 인텔리전트化를 위해 利用可能한 情報

것이 그림 3 이다.

2·2·1 自動化指向 시스템

廣域系統을 制御하는 시스템에 있어서의 設備綜合自動化는 電力會社 각부문의 自動化 시스템을 有機的으로 連系하여 電力系統을 一貫된 오퍼레이션시스템으로 制御하는 것으로서, 한층 더 電力의 安定供給과 運用業務의 效率化를 도모하고자 하는 것이다. 이 分野에서는 시스템의 構成이 垂直·水平機能分散으로부터 自律分散으로 변화하고, LAN이나 廣域패킷網을 사용한 네트워크, 멀티미디어 情報處理라든가 워크스테이션을 사용한 OA 處理, AI情報處理를 基盤技術로 하고 있다.

2·2·2 業務支援指向 시스템

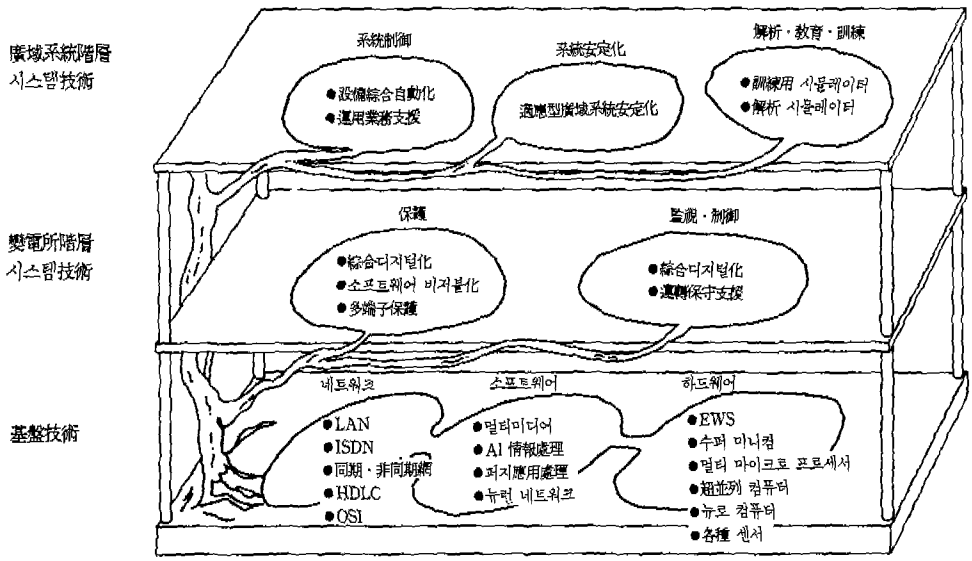
(1) 교육·훈련을 위한 支援시스템으로서 制御所 및 給電所의 系統監視·操作·記錄機能이 있고 電力系統의 靜的·動的特性을 實時間으로 시뮬레이션하는 현장감있는 시뮬레이터가 운전원의 훈련에 사용되고 있으며, 최근에는 보다 리얼한 모의를 위하여 保護裝置의 動作모의를 도입하고 있다.

(2) 워크스테이션을 사용한 水平分散네트워크를 기초로 하여 系統運用計劃, 需給運用計劃, 系統解析, 事故復舊 등을 綜合支援하는 시스템이 개발되어 있다. 또 대규모 電力系統을 리얼타임으로 모의하고 未解明現象의 해석이나 系統安定化裝置 등의 기기시험에 사용되는 系統解析시뮬레이터의 개발도 행하여지고 있다.

(3) 變電所의 운전, 유지보수원의 業務支援을 위한 시스템이 요구되고 있다. 베테랑이라 불리우는 사람이 經驗을 바탕으로 일해 오던 業務領域으로서, 시스템化가 늦어졌던 領域이다.

2·2·3 어플리케이션指向 시스템

適應型系統安定化 시스템은 사전에 준비한 想定事故패턴에 의한 緊急制御를 실시하는 것이 아니고 온라인데이터를 이용하여 系統狀態 및 事故條件에 적응한 최적의 安定化制御를 하고자 하는 것이다. 미쓰비시電機에서 오랜 세월 동안 축적해 온 系統解析에 대한 경험과 지식을 토대로, 알고리즘化하여 高性能 멀티마이크로프로세서에 搭載, PCM傳送回路 등에서 수집한



<그림 3 > 電力系統制御·保護의 인텔리전트化 시스템

廣域데이터를 기초로 高速演算處理하여 安定化制御를 한다.

2·2·4 펌웨어指向 시스템

變電所綜合 디지털시스템에서는 制御 및 保護시스템을 기기단위별로 분산배치하고 制御室과 相互間을 光LAN으로 結合하여 情報를 디지털化함으로써 공사·운전·유지보수면의 간소화와 기능면에서의 高度化·綜合化를 기하고 있다. 또 光섬유를 사용한 PCM傳送回線을 이용하여 同時刻性의 詳細데이터를 입수함으로써 실현한 多端子送電線保護, 메인터넌스業務를 용이하게 하기위하여 소위 「보이는 소프트웨어 "VISMAT"」(Visual Software Make and Test System) 機能을 搭載한 시스템 등이 있다.

이들중에서, 本稿에서는 인텔리전트化된 變電所綜合 디지털시스템과 變電所 운전·유지·보수支援 시스템에 대하여 기술한다.

3. 變電所綜合 디지털시스템과 운전·유지보수 支援시스템

3·1 變電所綜合 디지털保護·制御 시스템 技術

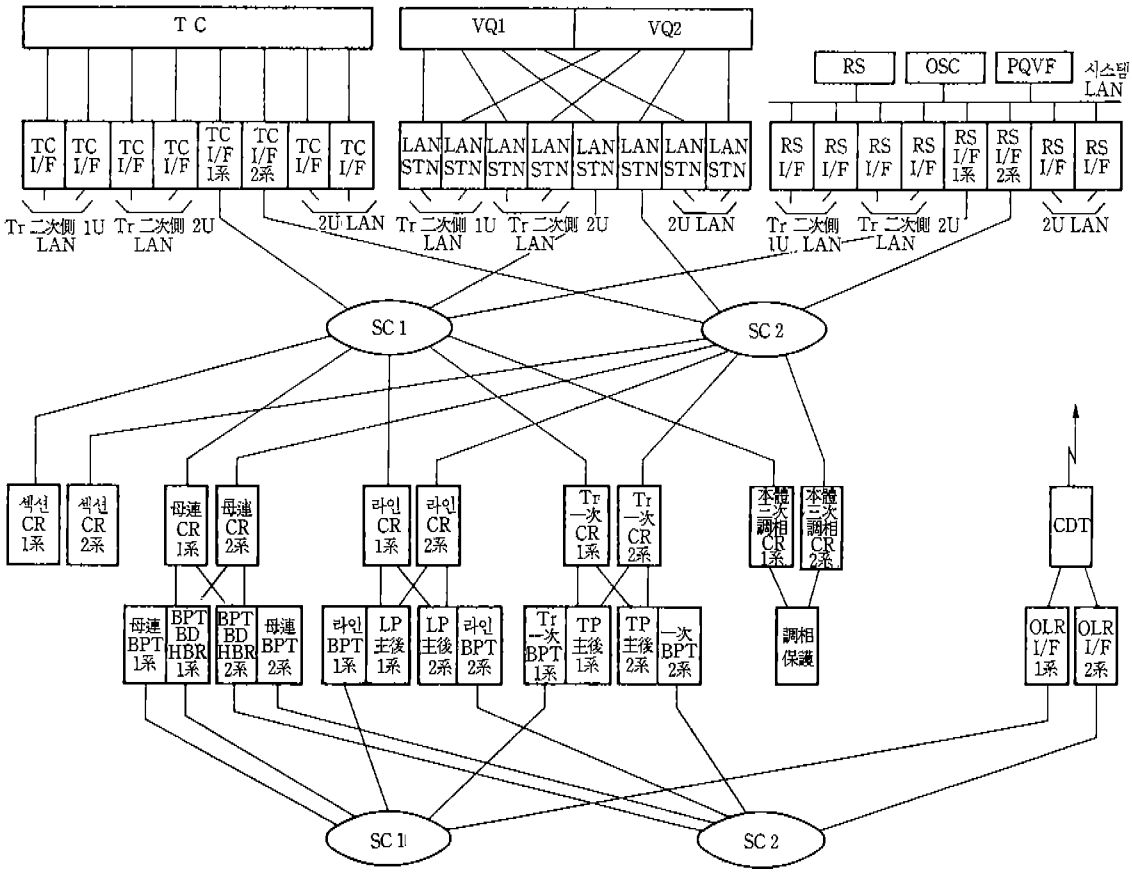
근래의 變電所保護·制御分野는 系統의 복잡화에 대응한 高性能化, 高信賴度化가 요구됨과 아울러 유지보수·점검업무의 省力化가 필요하게 되어 디지털技術을 구사한 保護·制御시스템이 개발되어 실용화되었다. 여기서는 전항에서 소개한 인텔리전트化의 方向에 焦點을 맞추어 變電所綜合 디지털保護·制御시스템을 소개한다. 그림 4에 變電所綜合디지털 保護·制御시스템의 예를 든다. 이 시스템에서는 送電線·母線·變壓器 등의 現場機器 근방에 端末裝置를 설치하고 制御室에 監視制御用CPU, 텔레콤, 오실로記錄裝置를 설치한 分散配置로 되어 있으며 母線保護시스템이나 制御시스템 등의 機能別로 독립된 스타型의 光LAN으로 結合하는 構成으로 되어 있다. 각부의 기능을 표 2에 표시한다. 이하 각기능이 가지고 있는 특징에 대하여 소개한다.

<표 2 > 시스템 各部의 機能

項 目	機 能
텔레컴	· 監視制御 · 計測表示 · 監視制御記錄 · 計測監視處理 · 마크로 操作 · 數値制御
自動 오실로	· 自動 오실로(出力) · 記憶部制御(起動, 停止)
簡易監視制御裝置	· 狀態監視 · 保護 릴레이의 整定 · 機器操作指令 · 故障點標定記錄 · 保護 릴레이 등의 使用, 로크
分散型保護裝置 (버스프로 端末)	· 送電線, 母線, 機器의 保護 (AD 變換, 事故檢出, 再閉路) · 保護 릴레이의 自動監視 (常時監視自動點檢) · 保護 릴레이 整定 · 保護 릴레이 使用, 로크 · 保護 릴레이 트립, 로크 · 故障點標定
分散型制御裝置 (制御端末)	· 計測 데이터 作成 (AD 變換, I, V 實効値, P, Q, f 演算) · 同期檢定 · 自動 오실로(데이터 記憶) · 오실로의 編輯, 傳送制御 · 機器操作 · 保護 릴레이 등의 使用, 로크(中斷) · 母線無電壓檢出 · 線路無電壓檢出 · 欠相檢出(母線) · LS/ES 인터로크(소프트로 作成)
電壓無効電力制御 (VQ)	· 電壓, 無効電力積分演算 · 制御對象選擇 · 調相高速開閉制御

(1) 高精度化

VQ制御裝置는 電力系統의 전압유지를 위하여 系統電壓, 無效電力을 入力으로 하여, 變壓器 탭체인저와 調相設備를 制御하지만 500kV 系統에의 적용을 고려하면 종래의 計測精度인 ±1%로는 5kV의 制御誤差가 발생하여 전압유지성능이 문제가 된다. VQ制御裝置인 경우에는



TC	: 텔레콤	OSC	: 오실로 裝置	BD	: 母線分離
TC I/F	: 同上用 LAN 端末	PQVF	: 系統現象觀測裝置	BP	: 母線保護
LAN STN	: VQ用 LAN 端末	SC	: 스타카플러	HBR	: 送電線高速後備
RS	: 簡易監視制御裝置	CR	: 制御端末	LP	: 送電線保護
RS I/F	: 同上用 LAN 端末	BPT	: 버스프로	TP	: 變壓器保護

<그림 4 > 變電所綜合 디지털 保護·制御 시스템

이 점을 고려하여 交流電壓入力에 PT比誤差의 補正, 入力變成器의 誤差補正 등 여러 가지를 소프트웨어로 補正함으로써 綜合精度 0.2%의 制御程度를 얻고 있다. 이것에 의하여 세밀한 電壓制御가 가능하게 되었다.

또한 금후에는 현재 도입을 검토하고 있는 多비트A/D 變換을 적용하면 더욱 精度가 높은 電壓制御가 가능하게 되리라고 생각한다.

(2) 高分解能化

變電所에서 발생하는 狀況을 발생순도에 따라 데이터化 하는 요구는 종래부터 있어 왔고 이벤트레코더, 오실로裝置 등으로 실현되어 왔다. 그러나 變電所의 大規模化에 수반하여 狀況의 點數가 증가하고 소정의 分解能을 유지하기가 곤란해지고 있다. 최근 實用化된 시스템에서는 32비트 멀티프로세서를 사용하여 電氣角 30°마다 全데이터(최대 2,000點의 비트데이터)를 샘플링하여 前回의 샘플링데이터와 比較하고

狀況의 發生有無를 5ms의 分解能으로 檢出이 가능하도록 되어 있다.

금후의 스위치기어의 無接點化 등의 實用化에 의하여 보다 높은 分解能이 요구되리라고 생각되지만 高速 샘플링(예로서 電氣角 10° 또는 15°)의 적용에 따라 데이터샘플링周期의 短縮化를 도모하고 보다 높은 分解能이 실현되리라고 생각된다.

(3) 高信賴度化

하드웨어의 高信賴度化로서 멀티프로세서를 構成하는 각 CPU에 自記診斷機能을 넣어 自動監視와 故障部位의 明確化를 도모함과 동시에 監視情報를 데이터세이브機能으로 凍結함으로써 상황진단도 용이하게 되는 시스템構成으로 하고 있다. 또 소프트웨어의 高信賴度化를 실현하기 위하여 종래 전문지식을 필요로 하여 計算機用語로 작성되던 소프트웨어를 쉽게 이해할 수 있는 圖形形態로 표현하고, 生產段階, 試驗段階에서의 確認性을 향상시킨 方式인 'VISMAT'를 적용하고 있다. 게다가 소프트웨어를 機能單位로 하여 하드웨어로 명확하게 分離하는 分散構成에 의하여 소프트웨어 規模의 適切化, 標準化를 기함과 동시에, 각 프로그램別로 사용하는 메모리領域의 正常化를 상시 하드웨어的으로 監視하는 機構를 설치함으로써 高信賴度化를 실현하였다.

(4) 맨머신性의 向上

시스템의 復雜化·高度化 등에 따라서 현장기술자 業務의 高度化·復雜化·業務量의 增加 등을 가져오고 있으나 取扱의 용이성과 유지·보수의 省力化를 도모하기 위하여 맨머신機能의 충실성이 필요불가결하게 되었다. 이 요구에 응하기 위하여 操作表示機能을 콤팩트하게 構成함으로써 裝置動作, 時刻, 各要素의 표시 등 廣範圍한 情報를 표시할 수가 있다. 또한 整數操作 및 유지보수操作의 가이던스機能을 넣어 操作의 簡便化와 매뉴얼레스化를 기하고 있다.

금후에는 整定, 表示點數의 增加가 예상되어 종래의 LED를 사용한 표시로는 한계가 있고 유저 프렌드리性이 또한 요구되므로 플랫 디스플레이를 사용한 맨머신 인터페이스가 실현되리라고 생각된다.

(5) 變電所內 共通데이터웨이의 構築

종래의 保護·制御시스템에 있어서 데이터의 주고 받음은 金屬케이블에 의한 1:1結合이 主流였으나 自動化의 추진 및 운전·유지보수 效率化를 목적으로 新規시스템이 도입되는 케이스가 많아졌고 종래의 方式에서는 도입시의 旣設設備에 대한 영향이 커서, 잘못하면 導入障害가 되는 케이스가 많았다. 이 點을 고려하여 變電所內의 共通데이터웨이를 構築함으로써 어떠한 시스템이 도입되더라도 데이터웨이에 加入할 수 있게 되어 필요한 情報를 支援할 수 있는 시스템을 실용화하였다. 그림4에서는 데이터웨이로서 10Mbps의 토큰 패싱버스型의 光LAN을 쓰고 있다. 이 예에서는 電氣角 60°에서 토큰을 一周시켜 全端末 샘플링의 同時刻性을 확보하고 있다.

(6) 텔레컴의 인텔리전트化

종래의 텔레컴은 制御所와 變電所間의 데이터를 주고 받는, 소위 케이블機能만을 갖고 있는 構成이었지만 프로세서의 能力向上에 의하여 다음과 같은 인텔리전트機能을 갖는 텔레컴이 실용화되어 가고 있다.

(a) 종래의 計測機能(常時傳送)에 目標電壓감시처리, 過負荷감시처리, 潮流감시처리 등 監視機能을 부가

(b) 종래의 制御機能에 매크로指令을 個別指令으로 전개하여 制御하는 매크로 操作機能, 作業設定部의 制御出力을 로크하는 소프트設定, 數値데이터(예로서 電壓調整器制御의 基準電壓値)를 遠隔整定하는 數値制御機能을 부가

(c) 종래의 監視機能에 監視設定機能을 부가

(d) 종래의 表示機能에 상태변화시의 組合傳送, 制御結果의 判定, 이벤트레코더 機能(SOE機能)을 부가

(e) 記錄機能으로서 이벤트記錄·日報記錄·텔레콤狀態管理·시스템管理·맨머신管理

3·2 變電所 운전·보수유지 支援 시스템 技術

變電所의 保護·制御시스템에의 計算機技術과 高度通信技術 적용이 전절에서 소개한 바와 같이 정착하게 되면 시스템의 屬性으로서 '소프트웨어의 증설에 의한 전혀 새로운 機能의 실현'이 기대된다. 종전의 機械式·트랜지스터式 繼電器가 主流였던 시기에는 變電所시스템에 新機能을 추가하는 것이 광대한 電氣回路裝置를 상대하여야 함을 뜻하기 때문에, 새로운 개념의 情報制御에의 기대가 컸더라도 경제성 등의 이유로 즉시 展開시키기가 곤란하였다.

디지털保護·制御시스템이 主流가 된 현재,

(a) 變電所 시퀀스의 大部分이 소프트웨어로 形成된다.

(b) 變電所의 情報가 光LAN 등의 供給窓口에서 준비되고 있다.

등의 상황에 와 있고, 新機能의 추가에 있어서는 專用의 情報收集 네트워크라든가 出力루트를 構築할 필요가 없으며, 소프트웨어를 搭載하는 하드웨어와 情報供給窓口와의 인터페이스가 있으면 실현할 수 있는 가능성이 있다. 시스템의 인텔리전트化에 관한 인프라가 整備되었다고 할 수 있다.

한편 保護·制御시스템 분야에의 컴퓨터技術導入이 진전되었다고는 하나 최근까지의 주된 製品소프트웨어 內部는 종전의 裝置機能을 '離散的데이터處理手法'으로 置換시킨 것이었다. 말하자면 保護·制御분야에의 計算機技術導入을 위한 사전 시험스테이지로서 디지털化 리프레이스를 우선 실시한다는 일면이 있었다고 생각된다.

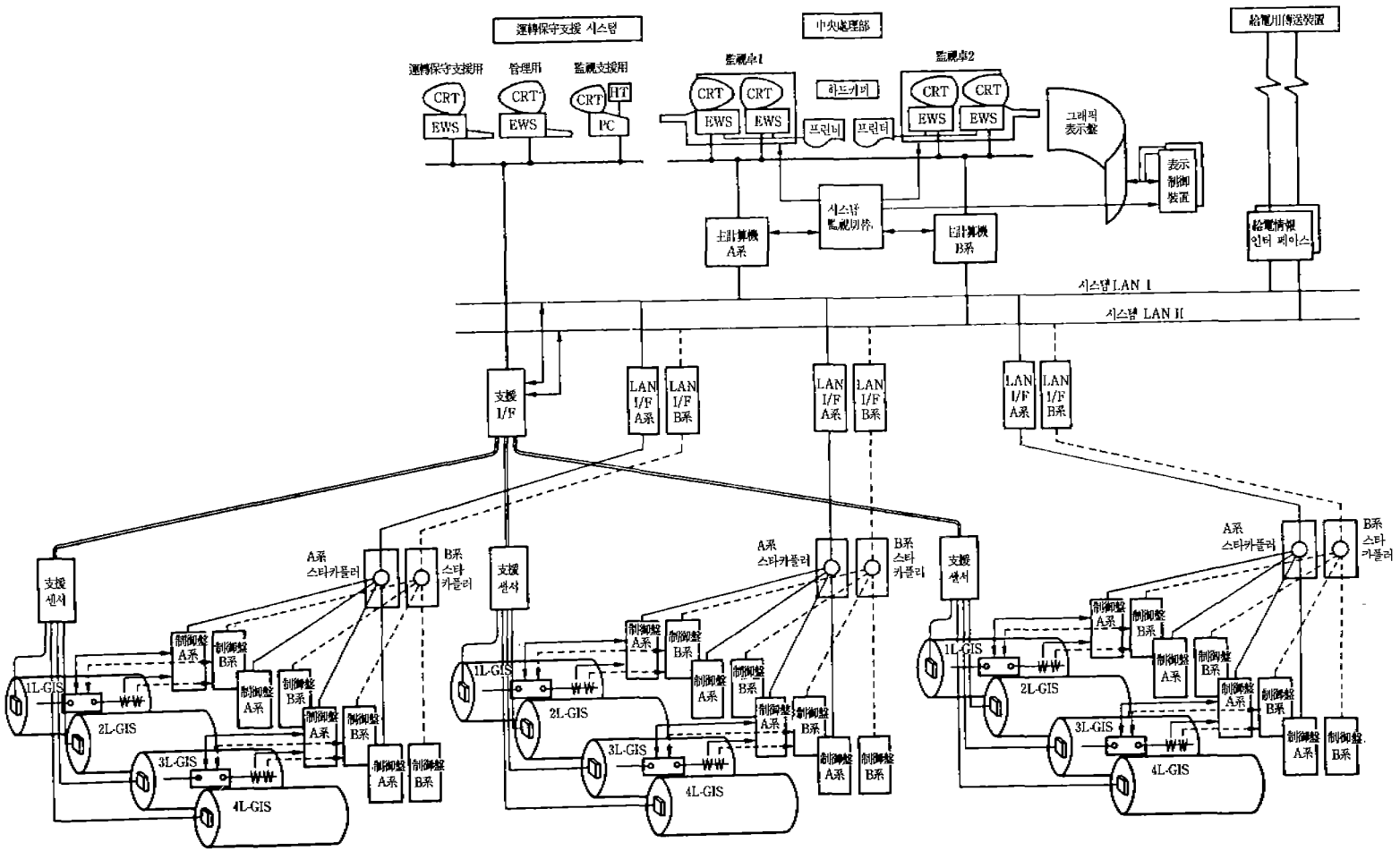
오랫동안 기대해 왔지만 전술한 바와 같이 經濟的·스페이스的인 이유 등으로 버려져 온 新機能이 設備의 디지털化 리프레이스가 一巡한 것에 이어 다음의 스텝으로서 실용적으로 착수 가능한 타겟이 되어 가고 있다고 생각된다. 일례로서 變電所의 支援시스템을 다음에 소개한다.

(1) 變電所支援시스템

1980년대 후반부터 電力會社에서는 '○○支援시스템'으로 표현되는 각종의 '變電所業務의 서포트에 관한 自動化裝置' 構築을 계획하게 되었다. 支援시스템의 종류로서는 표 3에 표시한 것들이 제안되고 있다.

<표 3 > 支援 시스템의 종류

運轉支援시스템	變電所의 監視制御情報로부터 각종 開閉器狀態情報, 變壓器狀態情報, 保護 릴레이 動作狀況情報, 각종輕故障情報 등을 入力하여 系統故障발생시의 적절처리내용을 出力하며, 경우에 따라 運轉支援 시스템 獨自의 制御操作을 실시하는 것. 高度制御化가 기대된다.
補修·維持支援시스템	變電所機器에 설비된 각종 機器狀態豫測保全 센서(故障發生을 미연에 방지하기 위해 設備의 손상을 예측하여 캐취)를 사용하여 設備의 운용적속여부를 出力함과 동시에 처리방법을 出力하는 것. 센서의 高度檢出化가 기대된다.
巡視支援시스템	종래에 人間의 손으로 실시해 오던 定時 또는 수시의 巡視業務를 機械化하여 대행하는 것으로 收集情報의 處理自動化, 收集業務自體의 機械化 등 금후의 발전이 기대되는 分野
安全管理支援시스템	침입자의 檢知라든가, 자연환경에 의한 變電機器에의 異物의 부착, 機器에 금이 가거나 더러워지는 등 視覺的으로 볼 수 있는 情報에 의한 業務의 支援임. 機器의 豫測保全에도 직접 이용할 수 있을 것으로 기대되고 있다.
整定支援시스템	保護 릴레이의 각종 整定業務에는 방대한 배데이터와 개개의 整定操作業務가 존재한다. 保護 릴레이의 整定을 위한 알고리즘을 베이스로 금후 綜合情報結合에 의한 온라인 整定이 기대된다.
解析支援시스템	系統故障발생시에, 裝置의 異常應動이 없었는지, 系統의 변모에 의한 새로운 현상이 發生하고 있지는 않은지 등 保護裝置의 入出力 및 內部論理를 대조하여 技術分析을 실시하는 것으로 금후 具體化가 기대된다. 또 制御 시퀀스 自體가 방대해지고 있기 때문에 이의 應動性解析이라는 면에서도 기대되고 있다.



<그림 5 > 次期變電所의 綜合監視·支援 시스템 構成

표중의 각종 支援시스템機能은 電力會社에 따라 온라인指向性이나 詳細機能으로서 실행하는 내용이 다르다. 또 실현하는 支援시스템은 표의 全아이템을 커버하는 것은 아니고 적절한 規模의 支援시스템項目의 複合形으로 設備化되는 경향이 있다.

(2) 變電所運轉支援시스템

變電所運轉支援시스템은 종래부터 變電所監視制御裝置로 실시하던 運轉操作·狀態監視·記錄業務 등, 운전원이 일상업무 또는 긴급업무로 실시하는 업무의 支援自動化機能을 구체화하는 것이다.

근년에 變電機器의 高度化, 系統運用의 復雜化 등 점점 더 운전원 업무에 전문성·숙련성이 요구되게 되었다. 그 중에서도 系統故障발생시에는 사회적영향이 큰 廣域停電狀態에 빠지는 것을 회피하기 위하여 복구의 신속화가 요구된다.

그러나 系統故障이 발생하는 部位를 정확히 檢定하는 業務나, 故障部位를 남기고 健全한 系統部分을 신속히 복귀시키는 操作業務는 保護制御裝置의 방대한 시퀀스의 正常確認行爲라든가 操作手順의 사전준비와 개별 機器選擇操作行爲를 인간의 손으로 시행하여야 했다.

變電所運轉支援시스템의 당면한 機能으로서는 상기한 것과 같은 신속한 시퀀스判定이라든가 一連의 操作을 系統故障發生과 동시에 起動을 걸어, 순차적으로 실행하여 가는 設備로서 구체화되어 가고 있다.

또 變電所에서 어떠한 현상이 발생하고, 進行中인가를 풍부한 書面情報에 적절한 인스트럭션을 가하여 수시로 운전원에게 제공함으로써 운전원이 종합적인 判定業務에 전념할 수 있는 支援機能이 함께 요구되고 있다.

(3) 유지·보수 支援시스템

運轉支援시스템의 構築과 並行하여 유지·보수支援시스템의 構築이 추진되고 있다. 경우에 따라서는 양자의 情報收集用 通信루트나 프론트處理 프로세서 등을 공용한 시스템에서는 운전·보수유지支援시스템이라고 불리우기도 한다.

보수·유지支援시스템은 變電所의 主回路機器 즉 變壓器·GIS·調相設備·碍子·避雷器 등의 保全情報를 수집하여 主回路機器에 장해가 발생할 사전 징후를 포착하여 오버홀을 실시함으로써 장해가 발생하였을 때의 設備停止時間과 必要코스트를 발생시키지 않고자 하는 것이다.

이와 같은 목적으로 종래에는 變電所의 巡視員이 機器의 異臭·異音·汚損 등의 발생을 機器周邊 巡回로 체크, 機器의 각종 計測表示器의 記錄을 수집하여 상기의 保全行爲를 실시하여 왔다. 근년에 각종 半導體센서가 발달됨에 따라 豫測保全 알고리즘處理를 光섬유結合의 마이크로 컴퓨터를 사용하여 機器근방에서 실행하는 技術環境이 됨에 따라 점차로 시스템의 具體化가 추진되게 되었다.

이상과 같은 構想下에서 현재, 電力會社가 構築을 추진하고 있는 次期 變電所의 綜合監視·支援시스템의 一般形을 그림 5에 소개한다.

4. 맺음말

電力系統制御 및 保護시스템의 인텔리전트化에 관하여 현황과 가까운 장래를 전망하여 보았다. 이제부터 系統의 많은 패러미터를 入力하여, 制御 및 保護를 실현하는 어댑티브한 制御·保護시스템, 系統 및 設備의 상황을 診斷·豫測하는 뉴로, 퍼지의 應用시스템, 개인의 레벨·環境에 即應한 커리큘럼을 제공할 수 있는 理解支援시스템 등이 實用化될 것이라 생각한다. 多樣化, 高度化되어 가는 니즈에 부응하여 高信賴度의 制御·保護시스템을 構築해 가고자 한다.

本稿는 日本 三菱電機㈱의 諒解下에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.