

# 컴퓨터制御 配電 自動化시스템

## 金觀鎬 / 設備研究室

### I. 序 論

최근에 電力시스템에 適用되어 運營된 SCA-DA시스템이나 負荷管理 (Load management), 配電給電線 自動化(Distribution feeder automation) 등은 配電에너지 시스템 自動化에 관련되는 개념으로서 綜合 應用되어 發展되고 있다. 이러한 개념들은 디지털 기술 발전에 따라 컴퓨터 自動化되어 階層制御形態로 連結 構成된다.

우리나라 電力시스템에도 送變電및 發電分野에 이미 이러한 시스템들이 導入 設置되거나 推進中에 있으나 需用 負荷側의 下部配電構造에는 못미치고 있다. 現在 美国, 캐나다等에서는 配電 自動化시스템과 같은 下部構造制御에 관심을 가지고 모델 지역등을 선정, 다각적인 측면으로 신뢰도와 經濟性등을 檢討 推進함으로써 모든 電力設備가 컴퓨터 制御形 自動化가 될 것으로 期待되고 있다.

장차 우리의 電力設備의 諸般 技術도 이러한 추세에 対応되어야 電力設備 投資費用에 對한 附屬的인 效果를 期待할 수 있으며 信賴度를 기할 수 있으리라 믿는다.

여기서는 언급된 11의으로 캐나다의 Ontario Hydro Project로서 實驗 推進되고 있는 配電 自動化 시스템의 모델을 소개하고 여기에서 밝혀

진 配電 自動化시스템의 개념과 分析된 정의틀 소개하고자 한다.

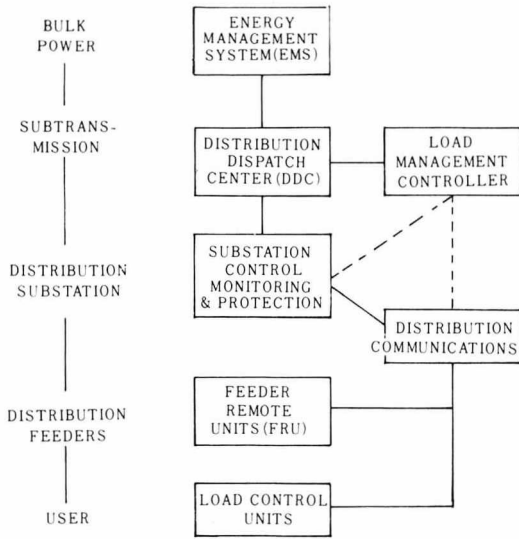
### II. 配電自動化 시스템의 개념

#### 1. 概 要

配電自動化 시스템(Distribution Automation System : DAS)의 개념은 發送變電 시스템의 自動制御 分野에 適用된 컴퓨터 通信制御方式을 配電시스템에 擴張하여 被動的 形態의 配電網을 能動的 形態의 配電網으로 機能이 부여되게 함으로써 需用側의 負荷를 直接 制御할 수 있도록 한것이다. 이와 같은 電力 시스템의 下部階層制御 構造는(그림 1)과 같이 나타낼 수 있다.

이 形態의 配列에서 配電給電센터(Distribution dispatch center)나 配電變電所급에는 디지털 프로세서가 運用되고 變電所와 給電線(Feeder), 需用家側 사이에는 制御와 data 伝送 用 通信網이 필요하게 된다. 이러한 構成에 의해 變電所와 給電線급 사이에서 制御(Control), 監視(Monitor), 保護(Protection)機能의 役割을 하게 된다.

配電시스템에 적용할 일부기능은 DDC 나 負荷管理制御系에서 수행될 수 있다.



〈그림 1〉 階層制御形態의 시스템配列

## 2. DAS의 一般的 機能

DAS를 위한 變電所나 給電系統에서의 一般的 自動機能은 아래와 같다.

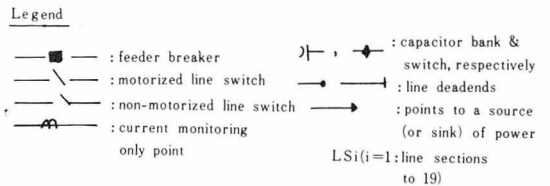
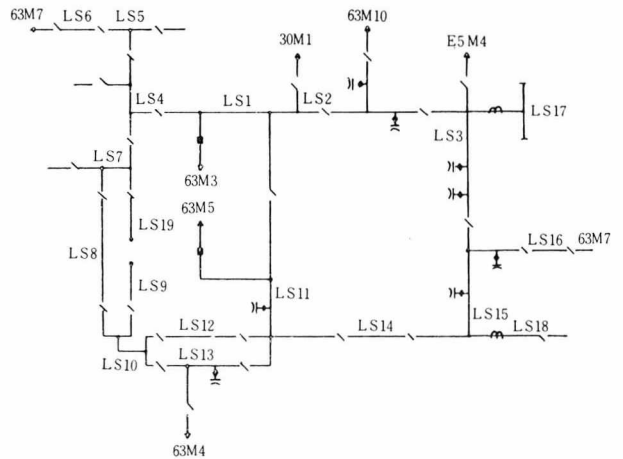
- 制御機能
  - 給電線 配列과 自動 sectionalizing
  - 變電所 變壓器 負荷平衡
  - Bus 自動 sectionalizing
  - 綜合電壓과 무효전력 (VAR)
- 保護機能
  - 自動遮斷器 reclosing
  - 遮斷器 故障
  - Bus 故障
  - 瞬時過 電流
  - 變壓器 故障
  - Time overcurrent
  - 周波數 저하
  - 同期 체크
- 監視機能
  - 경보(Alarm)
  - Data 수집 (Data acquisition)
  - Data 기록 (Data logging)
  - Data 감시
  - 상태 (Status)
  - 變電所 變壓器

## III. 實驗모델 시스템의 特性

### 1. 概 要

2개의 27.6/16kV급 4線式 配電給電線으로 약 40MVA의 混合負荷形態에 핵타아르당 20 KVA의 負荷密度를 가진 配電網이 선택되었고 總給電線路는 약 26km(地上57%, 地中43%)로 送變電所 같은 bus에서 供給된다. 이러한 給電線의 section과 스위치, 캐파시터가 連結된 配電網 topology는 〈그림 2〉와 같다.

DAS는 180개 遠隔所端末裝置 (RTU)와 S/W H/W에 의해 필요한 監視, 貯藏, 解析能力을 발휘하도록 master station이 構成되었다. 그 中에서 150개 RTU는 負荷管理와 測定值 관독을 위해 需用家 供給側에 위치하게 되며 나머지는 給電線 自動制御를 위해 給電線側에 있게 된다. 裝置의 연결은 電話回線網을 통하여 master station의 컴퓨터에 연결된다.

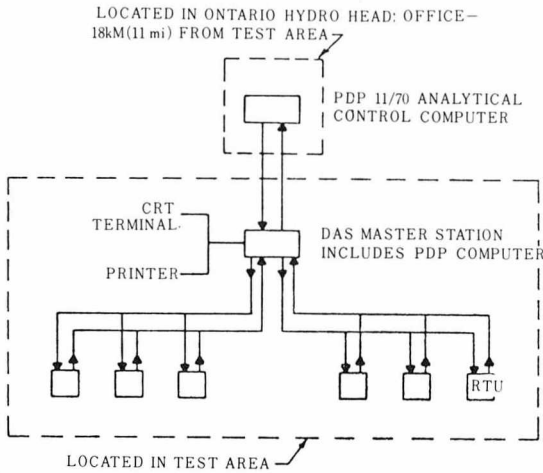


\* Note: The two DAS feeders are 63M3 and 63M5.

〈그림 2〉 配電網 Topology

### 2. 物理的 特性

DAS의 각 라인섹션은 自動化시스템에서 필요한 事象의 論理的 順序를 遂行토록하는데 重要



〈그림 3〉 DAS 컴퓨터 시스템

한 특성을 갖게되며 限定된 境界値와 dimension을 갖고 있다. 각 라인섹션은 n개의 인접된 라인섹션으로 連結될 수 있는 終端部(Ends) (여기서는  $0 < n < 6$ 로 限定)가 있게되고 負荷와 혹은 캐파시터 뱅크가 연결된 放射性(Radial) 形態의 構造가 되어 終端連結部(End connection)를 통해 電力의 流通을 시키게된다. 여기서 캐파시터 뱅크의 경우는 永久的 素子로 連結될 수 있다.

電流와 故障点의 測定은 다른 라인섹션과 連結되는 점에서 가능하며 電壓은 섹션내의 한 位置에서 測定된다.

### 3. 動的特性

DAS의 라인섹션은 加壓되거나 非加壓된 動的인 形態로서 總合시스템 정의에 필요한 論理的 順序의 開發이나 設計에 필요한 基本的事項을 나타낸다. 單時間 周期의 것을 제외하면 DAS 回路網은 대체로 放射線形으로 動作되는데 終端部 한 방향으로만 電力供給이 되어 加壓이 된다. 여기서 供給用 終端部는 回路網 topology와 스위치의 電流狀態(개방/폐쇄)에 따라 變化되게 된다.

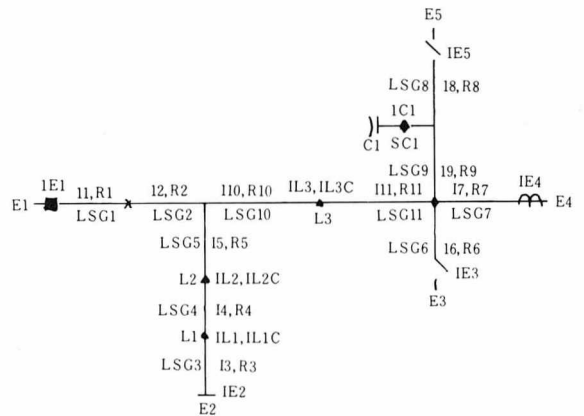
라인섹션의 總負荷는 終端部로 注入된 net상의 것과 같은것으로서, 라인섹션내 모든 負荷에 의해 얻어진 總負荷값을 구하기 위해 終端部에서 監視測定되는 값을 모든 나머지 終端部에 흐르는 電流값의 減算에 의해 얻을수 있게 된다.

監視測定된 電流値에서 力率差(Power factor differences)는 무시하며 캐파시터 電流値도 減算 調整한 것이다. 라인섹션의 각 세그먼트(Segment)에 分布된 電流는 세그먼트 負荷와 규모의 函數가 된다.

따라서 라인섹션 導體의 電力損失은 可變的인 電流分布와 適用된 電流의 復合된 性質때문에 精確히 測定되기 어려우나 라인 세그먼트電流의 제공 성분과 進류흐름에 對應하는 正常分 抵抗(Positive sequence resistance) 으로서 얻어질 수 있다.

### 4. 라인섹션의 量的特性

라인섹션의 量的特性을 계산하기 위해(그림 4)와 같은 모델을 개발하여(그림 2)와 같은 라인섹션의 상태를 나타낼 수 있다.



Legend ((그림 2)의 Legend 참조)

- $E_i (i=1 \text{ to } 5)$  : line section ends
- $IE_i (i=1 \text{ to } 5)$  : phase current magnitudes at line section ends
- $LSG_i (i=1 \text{ to } 11)$  : line segments
- $li (i=1 \text{ to } 11)$  : line segment current magnitudes
- $Ri (i=1 \text{ to } 11)$  : line segment positive sequence resistances
- ▲— : load
- $L_i (i=1 \text{ to } 3)$  : loads
- $IL_i (i=1 \text{ to } 3)$  : dynamic load current magnitudes
- $ILC_i (i=1 \text{ to } 3)$  : connected load current magnitudes
- C1 : capacitor bank no. 1
- SC1 : capacitor bank no. 1 switch
- IC1 : capacitor bank no. 1 current magnitude
- ★— : conductor change point

〈그림 4〉 라인섹션의 계산모델

식을 유도하기 위해 다음과 같은 가정을 한다.

- 모든 라인섹션 終端部 각 상전류(Phase current)의 크기를 알고 있다.

- 전력공급은 終端部  $E_1$ 을 통한다.

가. 全라인섹션의 動的負荷電流量(Total line section dynamic load current magnitude)

$$LSI = \sum_{i=1}^3 IL_i = IE_1 - \sum_{i=2}^5 IE_i$$

나. 全라인섹션이연결된 負荷電流量(Total line section connected load current magnitude)

$$LSIC = \sum_{i=1}^3 ILC_i$$

다. 動的負荷電流量(Dynamic load current magnitude)

$$IL_i = ILC_i \cdot \frac{LSI}{LSIC} \quad (i=1 \sim 3)$$

라. 각 라인세그먼트 電流

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2, & I_4 &= I_3 + IL_1 = IL_1, & I_7 &= IE_4, & I_{10} &= I_2 - I_5, \\ I_2 &= I_1, & I_5 &= I_4 + IL_2, & I_8 &= IE_5, & I_{11} &= I_{10} - IL_3, \\ I_3 &= IE_2 = 0, & I_6 &= IE_3, & I_9 &= I_8 \end{aligned}$$

마. 全 라인섹션의 線路損失

$$LSL = \sum_{i=1}^{11} I_i^2 R_i$$

만일 여기서 무시되었던 캐파시터 電流成分을 적용시킨다면 각 라인 세그먼트에 캐파시터 전류 값을 더하여 위의 식의 과정으로 계산하면 얻을 수 있다.

## IV. DAS와 機能分析 및 정의

### 1. 시스템의 綜合機能

여러개의 라인섹션이 連結된 供給點이 2개인 放射性 形態 給電線으로 構成된 시스템을 선택하여 실험 평가하였다. 이것은 한개의 給電線이 故障났을 경우 正常의 部分에 代替電力 供給이 가능하도록 構成되는 一般의인 配電網이다. 여기서 自動化 目的을 위해 스위치들은 빠른 周期內에 動作되어 하나의 配電網形狀을 이루어 動的인 特性이 유지되도록 하며 컴퓨터에서는 이러한 스위칭 상태의 향으로 된 데이터 베이스를 配列, 시스템 topology를 構成하게 된다.

配電시스템의 回路網을 그래프의 node와 branch로 표시하여 컴퓨터 데이터 베이스에 適用시키기 위해서 서로 連結된 라인섹션 終端部들은 branch로 표시하고 開放된 라인섹션 終端部는 choard로 대응시켜 tree 形態로서 放射性 配

電시스템을 모듈화 시킨다. 캐파시터 뱅크의 표시도 制御에 應用되도록 데이터 베이스에 適用시킬 수 있다.

### 2. 機能別 分析정의

여기에서는 다음과 같은 機能을 自動化하기 위한 目的으로 實驗 推進되었다.

- 負荷管理
- 自動化 檢針
- 무효전력과 전압조정
- 故障分離와 復舊
- 負荷전환
- 街路燈
- 시스템 監視

위와 같은 多目的의 機能을 遂行하여 다른 配電網시스템으로의 擴張 可能性, 投資對利得程度 등의 側面에서 考察, 다음과 같은 機能別 分析된 定義를 얻을 수 있다.

가. 故障分離와 復舊(Fault isolation and service Restoration)

이 機能을 위해 라인섹션상의 각기 한쌍씩 設置된 故障指示器와 給電線 遮斷器의 狀態가 入力된다. 永久的 故障이 發生되면 라인섹션을 分離하여 正常條件의 라인섹션으로 供給可能토록 하며 給電線의 狀態를 監視, 規定된 最大値 이상 的 負荷가 걸리지 않도록 한다. 순간적인 故障의 경우에는 線路나 變壓器 휴즈가 需用側의 電壓 狀態로 체크되게 하여 故障을 나타내도록 한다.

나. 負荷管理

이 機能에서는 2가지 方法으로 配電線路의 損失을 最小化 한다.

1) 負荷分布 變化에 따른 DAS 回路網의 動的 構成

2) 스위칭 可能한 給電線 캐파시터 뱅크의 리액티브 電力調整

다. 負荷스위칭

DAS機能에서 供給될 負荷가 最小化 損失을 얻는 代替形狀 配電網을 찾아 供給되게 된다. 이러한 機能을 위해서 라인섹션이 비加壓 狀態로 되는 것을 방지하기 위해 스위칭은 make before break 順序로 행해지도록 하며 負荷分布 變化에 따라 自動的으로 시작되게 한다.

라. 無效電力 스위칭

DAS에서 캐파시터 뱅크는 給電線은 無效電

力 發生에 따라 스위칭 되어 리액티브電力을 최소화 시켜주는 役割을 한다. 따라서 라인섹션에 캐파시터 뱅크의 連結여부를 결정하고 이에 따른 스위칭 順序를 정함으로써 필요수준의 무효 전력을 취하도록 한다.

마. 시스템 監視

아래와 같은 시스템의 狀態들을 監視測定하여 라인섹션의 動的 運營에 필요한 資料로서 이용토록 한다.

- 1) 周邊空氣溫度, 風速, 風向
- 2) T. S Bus 電圧
- 3) 3상과 中性線路, 大地電流
- 4) 영상전압(Zero sequence voltage)
- 5) 캐파시터 뱅크, 中性点(Star point)의 大地接續電流

위와 같은 監視測定된 파라미터들을 가지고 라인섹션의 스위칭 規定에 필요한 데이터 計算과 解析을 얻을 수 있다.

- 監視된 周邊 空氣溫度에 의한 架空線路의 動的 特性計算
- 영상전압과 中性線 大地電流에 의한 고압 피던스 고장검출
- 中性点的 大地接續電流에 의한 故障난 캐파시터 휴즈 검출
- 負荷中性点
- 統計
- 負荷프로파일

이러한 데이터 解析은 off-line 컴퓨터에 의해 수행된다.

바. 시스템베이스

시스템데이터 베이스는 配電시스템의 回路網을 모듈화하여 topology形態로 記述하는데 이용한다. 이것은 서로 밀접하게 連結된 라인섹션의 종속소자와 혹은 캐파시터 뱅크등이 결합된 階層構造 파일의 上位形態를 나타내는 라인섹션의 記錄파일이다. 이렇게 모듈화된 配電시스템의 정의는 컴퓨터 速度와 라인의 저장능력에만

限界가 될 뿐 擴大 配電시스템에 廣範圍하게 適用될 수 있다.

나머지 데이터 베이스는 다음과 같은 自動化 動作에 필요한 固定的이고 流動的인 情報를 포함하게 한다.

• 情報內容

- 遠隔端末裝置와 컴퓨터構成
- 線路導體임피던스 데이터
- 自動化에 필요한 데이터의 發生과 表示

V. 結 論

配電自動化 시스템을 위한 개념과 정의를 現在 運營되고 있는 시스템을 근거로 分析된 것이다. 現在의 設備시스템은 自動化 綜合되기 위해 이와 같은 개념과 정의를 바탕으로 우리실정에 맞는 모듈적 시스템을 研究하여 장차 自動化 추세에 대응되어야 할 것이다. 이에 따른 관련 컴퓨터 構成方法, 시스템(S/W, H/W) 통신방법 등이 광범위하게 연구개발되어야 한다.

參 考 文 獻

1. Mccall, L. V., "Defining a Distribution System for Computer Controlled Distribution Automation"; IEEE Transaction PAS102. Aug. 1983.
2. Mccall, L. V., "A Distribution Automation Demonstration Project"; IEEE Transaction PAS104. April, 1981.
3. Bunch., J. B., "Reliability Consideration for Distribution Automation Equipment"; IEEE Transaction PAS102, August, 1983
4. Puruker, S. L., "Distribution Energy Control Center Experiment"; IEEE Transaction PAS102. June, 1983

