論 文
52A-4-5

전력 계통 이상상태 가이던스 시스템 개발

A Development of Guidance System for Power Systems

吳 承 烈* · 白 榮 植** · 金 定 年*** · 韓 武 豪§
(Seung-Ryle Oh · Young-Sik Baek · Jung-Nyun Kim · Mu-Ho Han)

Abstract : Recently, electric power demands tend to be increased continuously. In this situation, current states of power systems must be definitely recognized to operate power systems stably and economically. Also, corrective actions must be performed for the violation of bus voltage and line overload. It is desirable that the situations of violation are promptly removed to operate power systems effectively. This paper deals with the development of guidance system for voltage and overload correction on base case using Generator-Voltage Sensitivity List(GVSL) and Generator Shifter Factor List(GSFL). Also, to show the superiority and economical efficiency of the proposed application, we applied the proposed guidance system to the Kwangyang Steel Works' Power Systems.

Key Words : corrective action, sensitivity, voltage violation, overload, guidance system

1. 서 론

대규모 수용가에서의 전력의 효율적인 운용은 생산물품의 질과 가격에 큰 영향을 미치는 중요한 문제이나, 아직까지 연구가 미진한 분야이다. 그러나 전력계통의 실시간 제어에 의한 전력의 효율적인 운용은 IT 기술의 발달로 적용 가능하게 되었다. 전력계통의 효율적인 운용이라 함은 사고를 미연에 예방하고 적정운전을 통한 손실축소로, 안전하고 경제적으로 계통을 운용하는 것을 말한다. 이를 달성하기 위해서는 항상 변화하는 시스템 상황에 대해서 현재 상태를 명확하게 파악 할 수 있어야 하며, 모선의 전압 위배 또는 선로 과부하에 대한 적절한 조처가 실시간으로 수행되어야 한다. 지금까지 이러한 위배 상태를 해결하기 위해 선형·비선형 등의 다양한 최적화 기법이 연구되어 왔으나 이와 같은 방법들은 대규모 계통에서의 계산 시간상의 비효율성이 내재하였기 때문에 실제 적용 사례는 제한적이었으며, 온라인 적용에 대한 문제점을 안고 있었다. 대규모 수용가에서 운전자 상황 판단의 지침이 되는 판단 지표 시스템(Decision Support System)을 구성하기 위해서는 크게 두 가지 측면에서 해결되어야 할 문제점을 안고 있는데, 우선 시간적인 면에서 실시간 시스템이 될 수 있어야 하며, 시스템을 구성함에 있어 복잡하고 다양한 전력 계통의 구성 요소들의 특성과 현재 상태 그리고 서로간의 연결 상태를 정확하게 프로그램상에 구현하고 인식하는 일이다. 이를 위해 이 논문에서는 객체 지향 기법을 이용하여 대상 시스템의 물리적인 최소 단위를 객체로 모델링 하여 이를 연결하는 방법을 제시한다. 또한 시간적인 면에서의 효율성을 위해 각 개체들 간의 민감도를 이용하여 위배 상태를 벗어나기 위한 적합한 제어 장치 선택과 그 변화량을 결정하는 방법을 제시하며, 실제 이러한 방법의 효율성과 타당성을 보이기 위해 광양 제철소 전력 계통에 적용하여 그 타당성을 보인다.

* 正 會 員 : LG산전(주) 전력시험 기술센터
** 正 會 員 : 경북대학교 전자전기 공학부, 정교수
*** 正 會 員 : LG전선(주) 전력연구소, 초고압그룹
§ 正 會 員 : 포항산업과학 연구원, 설비 자동화 센터
接受日字 : 2002年 12月 13日
最終完了 : 2003年 1月 7日

2. 정식화(Formulation)

가이던스 시스템의 가장 중요한 부분은 실시간 프로그램을 가능케 하여 계통 운전자로 하여금 운전 조건에 따른 계통 상황을 감시하게 하며, 앞으로의 발생할 수 있는 위험 상황에 대해 미리 대처하며, 현재 계통의 상태를 보다 안정적으로 운용할 수 있도록 하는 것에 그 목적이 있다. 본 논문에서는 각 설비들간의 민감도에 기반을 두고 계통 운전조건의 위배 시 해당설비를 이용하여 모선 전압 , 선로 조류 제어를 수행하였다. 사용된 제어설비들은 발전기 유효전력, 무효 전력, SVC, OLTC 등이 사용되었다.

2.1 전력 조류 계산

전력조류 계산은 전력 계통의 모든 해석에서 기본이 되는 분야로 본 논문에서는 계통의 초기상태를 빠르고 정확하게 구하기 위해서 속도면에서 가장 우수한 고속 분할법(Fast Decoupled Load Flow Method : FDLF)을 채택하였다. 또한 계산 시간의 단축시키기 위해서 소행렬(sparse matrix)을 적용하고 모선번호 재배열(Ordering)을 통해서 계통의 초기조건을 구하는데 소요되는 시간을 단축시키고자 하였다.

고속 분할법에서 사용되는 전력 편차 방정식은 식(1), (2)와 같다.

$$\Delta P/V = -[B_P]\Delta\theta \quad (1)$$

$$\Delta Q/V = -[B_Q]\Delta V \quad (2)$$

여기서,

$\Delta P, \Delta Q$: 유효 및 무효 전력의 편차
$\Delta\theta, \Delta V$: 위상 및 전압크기보정벡터
B_P: Y_{Bus}의 허수부분 (NB-1)×(NB-1)
B_Q: Y_{Bus}의 허수부분 (NB-NPV-1)×(NB-NPV-1)
NB : 총 모선수 NPV : 전압제어 모선수

상기의 식으로 각 모선의 모선의 위상각 및 전압의 크기의 수정은 식(3),(4)에 의해서 수정한다.

$$\theta_i^{k+1} = \theta_i^k + \Delta\theta_i \quad (3)$$

$$V_i^{k+1} = V_i^k + \Delta V_i \quad (4)$$

각 반복단계에서 $\sum\Delta V_i$와 $\sum\Delta\theta_i$가 충분히 작아 졌을 경우 수렴하고 중단한다.

2.2 모선전압에 대한 민감도

2.2.1 발전기 무효 전력

전력 계통의 모선 전압은 가동되는 발전기 수와 발전기 무효 전력 발전량에 따라 다르게 나타난다. 모선의 전압을 적정 수준으로 유지하기 위해서는 변화하는 부하에 대한 무효 전력의 수급 조건을 만족시켜야 하는데, 이러한 측면에서 볼 때 실제 발전기 모선에서 무효 발전력의 변화는 부하 모선에서의 전압 변화를 초래하므로 양자간의 민감도를 이용해 발전기 상태를 변화시킴으로서 부하 모선의 전압을 제어할 수 있다. 실제 발전기는 역률 자동조정 운전(Automatic Power Factor Regulation : APFR)과 전압 자동조정 운전(Automatic Voltage Regulation : AVR)방식이 있다. APFR 방식에서 부하 모선의 전압 제어는 발전기의 무효 전력 발전량 즉, 발전기 역률 조정에 의해 이루어진다. 식(5)에서 발전기 모선의 무효 발전력 변화량 ΔQ_j 에 대하여 부하 모선에서의 전압 변화량 ΔV_i 사이에는 식 (5)와 같은 관계식이 성립된다.

$$\Delta V_i = S \cdot \Delta Q_j = -[B_{exp}^{ij}]^{-1} \cdot \Delta Q_j / V_j \quad (5)$$

B_{exp} : Y_{Bus}의 허수부분 (NB-NAVR-1) ×(NB-NAVR-1)
NAVR: 전압제어 모선중 AVR운전 발전기모선수

2.2.2 발전기 단자전압

기동 중인 발전기는 무효 전력 범위 제한 내에서의 발전기 단자 전압을 변화시켜 부하 모선의 전압을 제어할 수 있다. 전압제어 모선의 전압변화에 대한 부하 모선의 전압변화는 간접적인 방법으로 민감도를 얻어 낼 수 있다. 발전기 단자 전압 변화로 인해 해당 모선과 연결된 인접한 부하 모선에서의 무효 전력 유입량이 변화하게 되며, 이들 모선의 무효 전력 유입량의 변화는 아래의 식(4)와 같은 민감도로 나타낼 수 있다. 따라서 최종적으로 제어 대상 부하 모선의 전압 변화량 ΔV_k 는 식(7)과 같다.

$$\Delta Q_i = -b_{ij} \cdot V_j \cdot \Delta V_j \quad (6)$$

$$\Delta V_k = \sum_{i\in\Lambda} S \cdot V_i = -\sum_{i\in\Lambda}[B_{exp}^{ik}]^{-1} \cdot \Delta Q_i \cdot V_i \quad (7)$$

b_{ij} : i모선과 j모선사이의 선로 서셉턴스
Λ : 전압제어 모선과 연결된 인접한 부하모선

그림 1은 Λ모선 정의의 이해를 돕기 위한 그림이다. 아래의 그림에서 발전기 모선인 2번 모선에 대한 Λ모선은 3,5,6번 모선이 이에 해당한다.

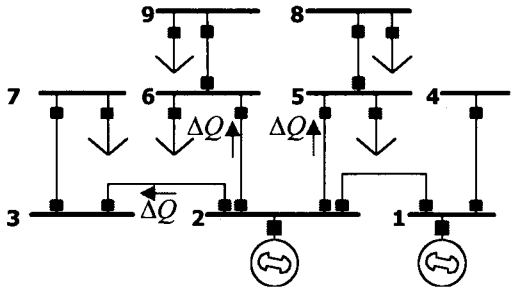

그림 1 Λ모선 정의
Fig. 1 Definition of Λ bus

식(6)과 (7)을 살펴보면 발전기 단자 전압의 변화는 Λ 모선의 전압 변화를 가져온다. 이는 곧 Λ 모선의 전압 변화는 AVR로 운전되는 발전기의 무효 전력 변화를 발생시킨다는 의미가 된다. 즉, 임의의 전압 제어 모선에 의해 부하 모선의 전압을 변화시킬 경우 Λ모선의 전압 변화가 부수적으로 일어나게 되며, 이는 계통에서 나머지 AVR 운전 발전기의 무효 전력 변화를 가져오게 된다. 그러므로 이들의 과정에 의해 발생되는 Λ 모선의 전압 변화는 AVR 운전 발전기의 무효 전력 상, 하한의 위반을 초래하지 않는 범위 내에서 이루어져야 한다. 이를 위해서는 Λ모선의 전압 변화와 AVR 운전 발전기 무효 전력간의 민감도를 이용해서 명시된 위반이 발생하지 않도록 미연에 변화량을 조정해야 할 필요가 있다. Λ모선으로 유입되는 무효 전력의 변화량 ΔQ_i 에 대한 임의의 AVR 운전 발전기의 무효 전력 변화량 ΔQ_k 은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_i = -[B_{exp}^{ij}]^{-1} \cdot V_i \cdot \Delta Q_i \quad (8)$$

$$\Delta Q_k = \sum_{j\in\Lambda} S \cdot \Delta V_i = \sum_{j\in\Lambda}(-b_{jk} \cdot V_i) \cdot \Delta V_i \quad (9)$$

2.2.3 SVC의 무효전력

SVC(Shunt VAR Compensator)는 계통 내의 무효 전력을 공급 또는 흡수하면서 모선 전압을 일정하게 유지하거나 원하는 값으로 변화키는 역할을 수행한다. 즉 SVC 값의 변화는 부하 모선의 무효 전력 유입량을 변화시킴으로서 해당 모선의 전압 변화를 가져옴과 동시에, Λ 모선의 전압을 변화시킴으로서 발전기의 무효전력 발전량 또한 변화하게 된다. 위의 식(2)를 이용해서 SVC의 ΔQ_k 변화에 대한 부하 모선의 전압 변화량 ΔV_j 간의 민감도는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_j = S \cdot \Delta Q_k = -[B_{exp}^{jk}]^{-1} \cdot \Delta Q_k / V_j \quad (10)$$

2.2.4 변압기 탭(Transformer Tap)

i−j모선 사이의 OLTC(On Load Tap Changing) 변압기

는 가변 탭을 이용하여 모선의 전압을 적정 수준으로 유지하는 기능을 수행한다. 변압기의 탭 변화는 발전기의 무효 전력 발전량의 변화를 가져오기 때문에 이를 이용한 전압 조정은 발전기의 무효 전력 상·하한의 제약을 벗어나지 않는 범위 내에서 이루어져야 한다. i−j모선 사이의 변압기 탭 변화는 i−j각 모선에서 $-b_{ij}\cdot \Delta t / t$의 무효 전력의 변화가 발생한다. 이를 이용하여 i−j 선로의 변압기 탭 변화에 따른 임의의 부하 모선 k 에서의 전압 변화량 ΔV_k은 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\Delta V_k &= S\cdot \Delta t \\ &= ([B^{ik}_{exp}]^{-1}\cdot b_{ij}/t - [B^{ik}_{exp}]^{-1}\cdot b_{ij}/t)\cdot \Delta t\end{aligned} \quad (11)$$

2.3 선로조류에 관한 민감도

2.3.1 발전기 유효 전력

제철소 내의 154[kV] 변전소간의 연결 선로(Tie Line)의 탈락 사고는 전체 시스템에 미치는 파급효과가 크기 때문에 이들 선로에 과부하가 발생하지 않은 범위 내에서 유효 전력의 발전이 이루어져야 한다. PV모선의 유효 전력량의 변화 ΔP_k는 i−j모선 사이의 선로 조류를 변화시킨다. 이는 ΔP_k에 의해 각각 i, j모선의 위상 변화를 가져오며, 이로 인해 i−j모선간의 선로 조류의 변화가 발생하게 된다. 이때 선로 조류 변화량을 ΔP_{ij} 라 하면 민감도 S는

$$S=\frac{\Delta P_{ij}}{\Delta P_k}=\frac{\partial P_{ij}}{\partial P_k}=\frac{\partial(V_i V_j \sin(\theta_i-\theta_j)/x_{ij})}{\partial P_k} \quad (12)$$

여기서, $|V_i|\approx 1$, $|V_j|\approx 1$, $\sin(\theta_i-\theta_j)\approx(\theta_i-\theta_j)$이라고 가정하면 식(12)는 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}S &= \frac{1}{x_{ij}}\cdot\frac{\partial(\theta_i-\theta_j)}{\partial P_k}=\frac{1}{x_{ij}}\cdot\frac{\partial\theta_i}{\partial P_k}-\frac{1}{x_{ij}}\cdot\frac{\partial\theta_j}{\partial P_k} \\ &= \frac{x_{ki}}{x_{ij}}-\frac{x_{kj}}{x_{ij}} \\ &= \frac{x_{ki}-x_{kj}}{x_{ij}}\end{aligned} \quad (13)$$

식(13)을 식(12)에 대입한 후 ΔP_{ij}에 대해 정리하고, B_P 행렬의 원소로서 표현하면 식(14)와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\Delta P_{ij} = S\cdot\Delta P_k=([B^{ik}_P]^{-1}-[B^{jk}_P]^{-1})\cdot b_{ij}\cdot\Delta P_k \quad (14)$$

2.3.2 위상 변압기(Phase Shifter)

선로에 흐르는 유효 전력은 선로 양단의 모선 전압의 크기보다 위상에 의해 그 크기가 결정된다. 이러한 면에서 볼때 선로 양단 모선의 위상 변화는 선로에 흐르는 유효 전력의 변화를 가져온다. i−j 모선 사이의 위상 변압기의 위상 변화는 터미널 모선의 위상 변화로 이어지고 이는 곧 선로에 흐르는 유효 전력의 변화를 가져온다. 위상변압기의 단위 위상 변화에 대한 임의의 k모선의 위상변화 $\Delta\theta_k$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\theta_k = ([B^{ik}_P]^{-1}-[B^{jk}_P]^{-1})\cdot b_{ij} \quad (15)$$

따라서, 위상변압기의 $\Delta\phi$ 위상변화에 대한 선로 조류 변화량 ΔP_{ij} 은 다음과 같은 민감도를 가지게 된다.

$$\begin{aligned}\Delta P_{ij} &= S\cdot\Delta\phi=\{(\Delta\theta_i-\Delta\theta_j)-N\}\cdot b_{ij}\cdot\Delta\phi \\ &=\{([B^{ii}_P]^{-1}-[B^{ij}_P]^{-1})-([B^{ij}_P]^{-1}-[B^{jj}_P]^{-1})-N\}\cdot b_{ij}\cdot\Delta\phi\end{aligned} \quad (16)$$

단, 여기서 N은 해당 선로에 위상 변압기가 존재하면 1, 반대의 경우에는 0이 된다.

3. 시스템의 표현

전력 계통의 해석하기 위해 필수적으로 현재의 계통상태를 인식하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 계통의 상태를 각 설비들간의 연결로서 나타내었다. 계통을 구성하는 요소로서는 모선, 선로, 변압기, 발전기, 부하, SVC, 차단기와 단로기 등이 있다. 본 논문에서는 각 설비간의 연결 상태를 프로그램 상에서 인식 할 수 있도록 하기 위해 각 계통 구성요소를 객체로서 표현하고 구성된 객체를 조합하여 전체 시스템을 표현하였다. 실 계통에서의 모선과 선로의 연결 과정에서 단로기, 차단기 등과 모선 내부 각각의 부스 바(Bus Bar), 부스 타이(Bus Tie), 부스 섹션(Bus Section)들의 연결 상태들은 보다 복잡한 구조를 띠고 있다. 예를 들어 선로와 모선의 연결은 차단기와 단로기를 통하여 이루어지고 있으며, 모선 내부 또한 부스바(busbar)와 부스 타이(차단기), 부스 섹션(차단기)등으로 연결이 이루어져 있다. 아래 그림과 같이 객체들간의 연결은 포인터(Pointer)로 연결하였으며 각 객체들은 이들 경로를 통하여 다른 개체들과의 메세지를 주고 받을 수 있다. 실제 모선 내부 구성 요소들의 상태는 프로그램 상에서 모선 단일/분리운전 및 부하의 절체 등 상황에 따라 계통의 구성은 변화하게 된다. 이 때 어느 한 모선내의 어느 부분에 조류가 편중되는 현상이 발생하기도 한다. 그러한 현상들을 규명하기 위한 적합한 구조로서 아래그림과 같이 차단기(BS, BT), 단로기(DS)를 통하여 모선 내부 구성 요소들과 연결할 수 있는 구조로 만들고, 모선 외부로 차단기 및 선로에 연결될 수 있는 구조를 가진다.

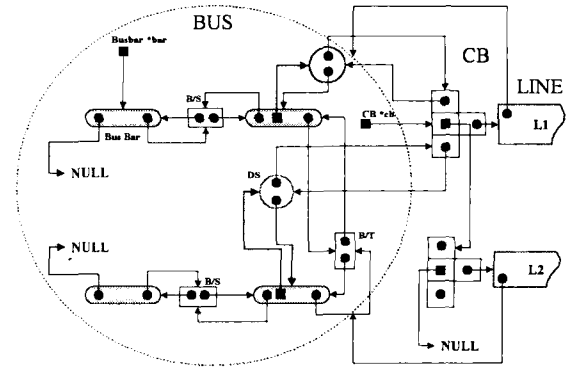

그림 2 모선 객체와 선로 객체간의 연결 상태
Fig. 2 Connection of bus and line object

그림 3과 4는 위에서 간략히 상술한 계통의 표현방법을 사용하여 변전소를 나타낸 것이다. 객체 서로간의 연결 상태를 보다 구체적으로 나타내기 위해 모선과 연결된 변압기 선로간의 연결 상태를 살펴보면, 각 변압기 선로는 차단기와 단로기를 통하여 부스 타이와 부스 섹션으로 구분되어져 있는 부스 바에 연결되어 있다.

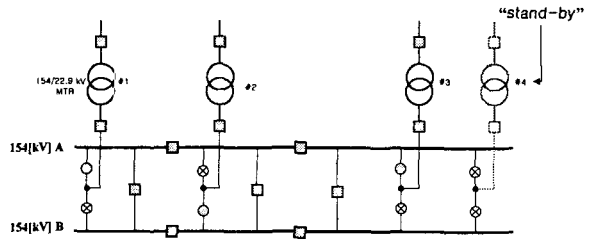

그림 3 예제 시스템 단선도
Fig. 3 Single diagram of a sample system

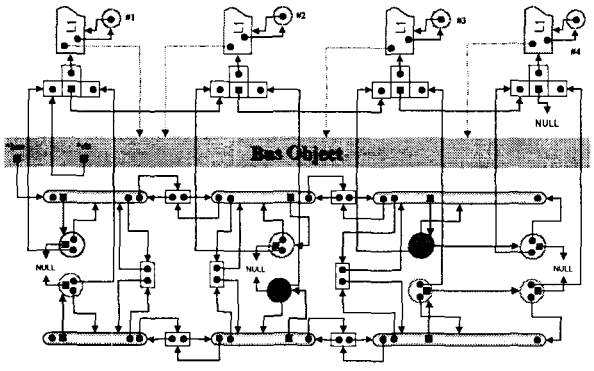

그림 4 예제 시스템의 객체화
Fig. 4 Object representation of a sample system

4. 가이던스 시스템의 구조 및 알고리즘

4.1 시스템의 구성

가이던스 시스템의 전체적인 구조는 그림 5와 같다. 산재된 계통설비로 부터 데이터 취득장치에 의해 실시간으로 SQL서버에 저장이 된다. 가이던스를 수행하는 컴퓨터에서는 주기적으로 SQL서버에 접근 데이터를 OLE DB를 이용하여 계산에 필요한 데이터를 입력 후 기저상태(base case)에 대한 전력조류를 수행한다. 전력조류 계산에 의해 모선의 전압 및 선로조류를 계산하고 결과는 DB에 저장이 된다. 또한 모선전압 및 선로조류의 위배사항 발생시 운전자에게 통보를 하며 위배사항에 대한 조치사항을 단계적으로 DB에 저장을 한다.

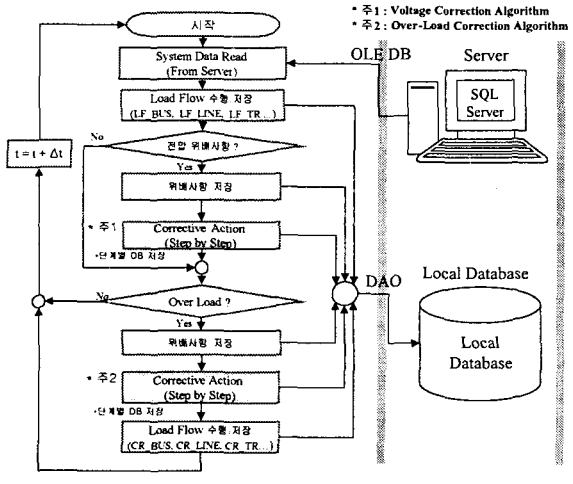

그림 5 가이던스 시스템 구조
Fig. 5 Structure of the Guidance System

4.2 전압위배 해소 알고리즘

현재 계통 상태가 적정 수준의 전압 범위를 벗어난 경우 다음과 같은 알고리즘에 의한 전압위배에 대한 조치가 수행된다. 이 단계에서 발전기의 역률 및 탭 설정에 의한 전압 변화량은 민감도에 의해 결정되며 수행되는 모든 절차들은 데이터베이스에 단계별로 저장되며, 이는 현재의 전압 위배 상태를 해소할 수 있는 가이던스 역할을 하게 된다. 또한 이용 가능한 모든 발전기로써 전압 제어가 불가능할 경우 부하 차단 요구 메시지를 발생시킨다. 이때 차단되는 부하는 우선순위에 의해 결정된다. 전압위배를 해소하기 위한 알고리즘은 아래 그림 6과 같다.

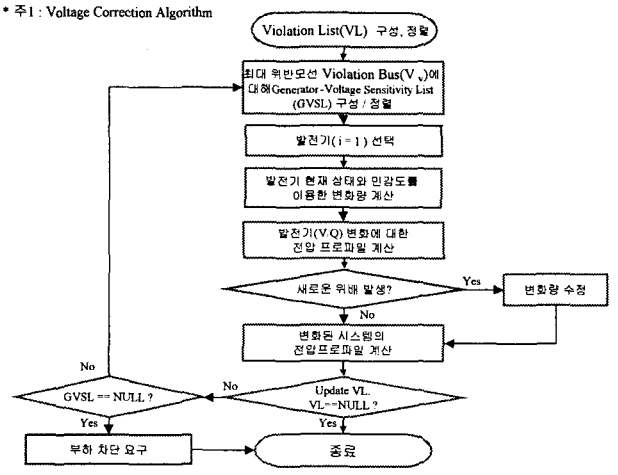

그림 6 전압 교정 순서도
Fig. 6 Flow chart of voltage correction

단계 1 : 전압 위반이 발생한 경우 VL(Violation List)를 구성하고 위반량의 크기에 따라 정렬한다.

단계 2 : VL에서 최대 위반 모선 V_v에 대해 GVSL(Generator - Voltage Sensitivity List)을 구성하고 민감도가 큰 순으로 따라 정렬한다.

단계 3 : 최대 위반 모선 V_v의 전압 위배 해소를 위한 발전기 무효 전력/단자 전압 변화량 ΔC 을 계산한다.

단계 4 : 발전기 무효 전력 상/하한, 단자 전압 상/하한을 고려한 변화량 ΔC 을 수정한다.

단계 5 : ΔC 변화시 새로운 모선의 전압 위배가 발생하거나, 현재 위반 모선의 상태를 더욱 악화시킬 경우 이에 대한 민감도에 의해 변화량 ΔC을 수정한다.

단계 6 : ΔC 변화 시 발전기의 무효 전력 변화를 계산, 만약 발전량이 상/하한 제약을 벗어날 경우 이에 대한 민감도에 의해 변화량 ΔC 을 수정한다.

단계 7 : 최종적으로 수정된 ΔC 변화에 대한 시스템 프로파일을 계산한다.

단계 8 : GVSL에서 이용 가능한 발전기가 남아 있을 경우 즉, GVSL≠NULL인 경우 단계 1로, 남아 있지 않을 경우(GVSL = NULL) 부하 차단 요구 메시지 발생.

4.3 과부하 해소 알고리즘

계통 운전상태가 적정 수준의 선로, 변압기 용량을 벗어나서 운전하는 다음과 같은 알고리즘에 의한 과부하 위배에 대

한 조치가 수행된다. 과부하 해소는 발전기 유효발전량 및 위상변압기의 위상에 관한 민감도에 의해 결정되며 수행되는 절차들은 모든 전압 위배시와 마찬가지로 데이터베이스에 단계별로 저장된다. 과부하위배를 해소하기 위한 알고리즘은 아래 그림 7과 같다.

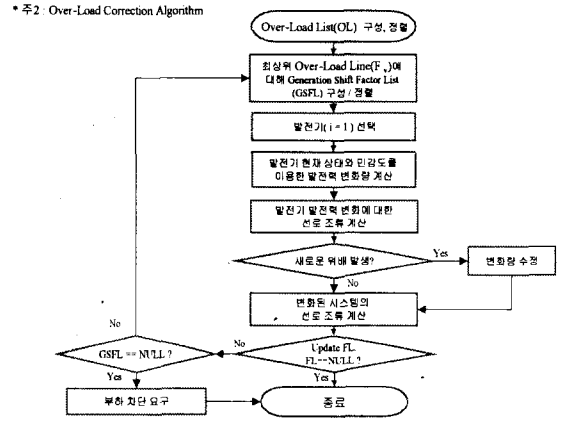

그림 7 과부하 교정 순서도

Fig. 7 Flow chart of overload correction

Step 1 : 선로 과부하가 발생한 경우 OL(Overload List)를 구성, 과부하 정도에 따라 정렬한다.

Step 2 : OL에서 최대 위반 선로 F_v에 대해 GSFL(Generation Shift Factor List)을 구성하고 민감도의 크기에 따라 정렬한다.

Step 3 : F_v모선의 전압 위배를 해소를 위한 발전기의 유효전력 변화량 ΔC 을 계산한다.

Step 4 : 발전기 유효 전력 상/하한, 탭 설정 상/하한을 고려한 변화량 ΔC 을 수정한다.

Step 5 : ΔC 변화시 새로운 선로에 과부하가 발생하거나, 현재 과부하 선로의 상태를 더욱 악화시킬 경우 그에 대한 민감도를 이용해서 변화량 ΔC을 수정한다.

Step 6 : 최종적으로 수정된 ΔC 변화에 대한 시스템 프로파일을 계산한다.

Step 7 : GSFL에서 이용 가능한 발전기가 남아 있을 경우 즉, GSFL≠NULL인 경우 단계1로 가고, 남아 있지 않을 경우(GSFL = NULL) 부하 차단 요구 메시지 발생한다.

4.4 데이베이스

클라이언트/서버 환경의 전산 시스템에서 무엇보다 중요한 것은 데이터가 집중되어 있는 서버를 효율적으로 운영하는 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 가이던스 시스템에서 서버 접근을 위해 사용되는 OLE DB는 서버의 부담를 덜어주기 위한 하나의 방법이라 할 수 있다. OLE DB는 이미 컴파일된 컴포넌트를 사용하는 COM 객체 (Component Object Model)에 기반을 두고 있어 COM이 제공하는 모든 이점을 그대로 활용할 수 있으며, 데이터베이스 기능을 소비자(Consumers)와 공급자(Providers)의 역할로 분리함으로서 기존에 사용되는 데이터베이스 관리 시스템보다 더높은 효율을 제공한다. 또한 OLE DB는 웹에 기반한 어플리케이션에서 활용할 수 있도록 디자인되어 있어, 인터넷에 접속하고 데이터 소스에 접근하는데 많은 부하가 걸리지 않도록 설계되어 있다. 앞서 언급 했듯이 OLE DB의 이러한 구조는 리소스 량을 최소화하는 것이 바람직한 클라이언트 측이나 실측 데이터를 취득/전송함에 있어 시스템 부하를 최소화하여 안정적인 서버 운영을 위한 측면에서 효과적인 방법이라 할 수 있다.

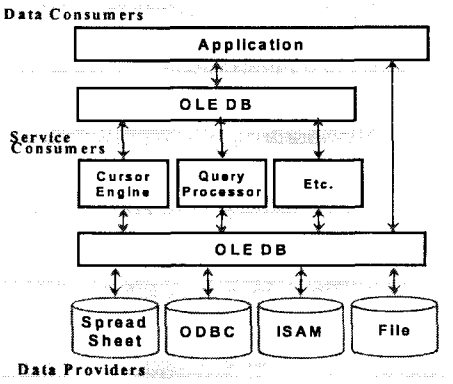

그림 8 OLE DB 구조

Fig. 8 OLE DB Architecture

5. 실계통 적용사례

5.1 대상계통

본 논문에서는 개발된 시스템을 광양제철소에 적용하였다. 광양 제철소 전력 계통은 345[kV], 154[kV]의 수전 변전소와 4개의 154[kV]변전소, 그리고 사용 전압 154[kV], 22.9[kV], 6.6[kV],의 배전 선로로 구성되어 있으며. 243[MVA]급 3기 , 118[MVA]급 8기, 18[MVA]급 6기의 발전 설비와 변압 설비들로 구성된다. 현재 광양 제철소 부하 특성을 살펴보면, 크게 가변 부하와 고정 부하로 분류되고, 고정 부하로서는 고로, 코크스 설비 등의 해안지역 부하와 열연, 미니밀 등의 압연지역 가변 부하가 있다. 계통의 안정 운전에 영향을 미치는 가변 부하의 특성을 고려한 순시 최대 부하 전력은 1200[MVA]이며, 최소 부하 전력은 580[MVA]이다. 또한 154[kV] 모선의 전압을 적정 수준으로 유지하기 위해 발전소 군별로 AVR운전과 APFR운전을 병행하고 있다. 그림 9는 광양제철소 단선도를 나타낸 것이다.

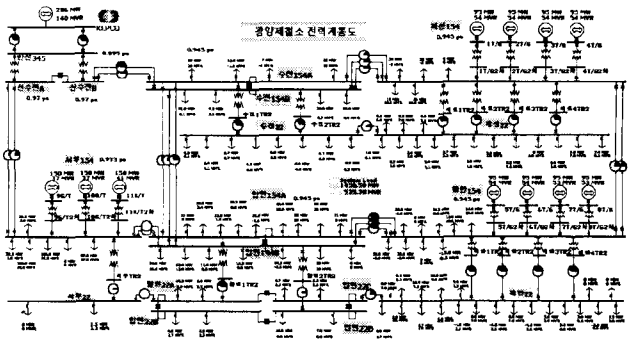

그림 9 광양 제철소 전력 계통도

Fig. 9 Power system of Kwangyang Steel Works

가이던스 시스템 입력 데이터는 현재 광양 제철소 계통에서 위반 상태를 생성 해내기 위해 임의로 서버의 데이터를 조작하였다. 또한 가이던스 시스템의 실행 기준은 154[kV]모

선 의 전압 변동 범위가 +/-2[%] 초과시 , 연결 선로의 조류는 선로 용량의 65[%] 초과시 실행하도록 설정하였다. 아래의 표는 광양 제철소 134모선에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 각각의 단계에서는 최대 위반 모선 또는 선로에 대해 민감도가 가장 큰 발전기를 선택한 다음 선택된 발전기의 운전 방식에 따라 제어량을 결정하게 된다.

5.2 모의결과

상기의 계통을 모의한 결과 기저상태에서 6개의 전압위배 모선과 4개의 과부하 선로가 발생하였다. 표 1에서 보는바와 같이 교정절차를 거친 결과 대상계통은 모든 운전조건을 만족하게 되었다.

표 2에서는 표 1과 같이 운전조건의 위배사항이 발생하였을 경우 각 단계별로 교정절차를 나타내었다. 모선 전압 위배와 선로 과부하에 대해 각각 3단계의 교정 조치를 거치면서 기저 상태에서 발생 했던 위배 사항이 해소됨을 알 수 있으며 단계별로 진행되면서 계통의 운전조건을 만족해 가는 과정을 볼 수 있다. 일련의 과정에서 발전기 역률 또는 단자 전압의 변화량 결정과 변화되는 시스템 프로파일(Profile)의 계산은 이들 각 개체간의 민감도를 이용하여 수행 시간을 단축시킬 수 있었다.

표 1 교정 조치 전·후 결과 비교

Table 1 Comparison of results

	저 전압 모선 수 (Slack 모선 제외)	과전압 모선 수 (Slack 모선 제외)	Tie Line 과부하 선로 수	수행 시간 [sec]
Correction 전	6	0	4	1.3
Correction 후	0	0	0	2.7

표 2 교정조치 절차

Table 2 The Procedure of Correction

G NO	RE AD	EX TI ME	G TYPE	OV	UV	OL	MAX VIO NAME	VALUE	CTRL POS	CTRL TYPE	PRE STATE	PRE PGEN	PRE CTRL VALUE	POST STATE	POST PGEN	POST CTRL VALUE	REQ LOAD SHED
1	☐		1	0	6	0	제선 변전소 154[kV]	149.25	3 T/G 11[kV]	발전기 역률[%]	0	0	0	1	70	90	☐
2	☐		1	0	6	0	제선 변전소 154[kV]	150.02	1 T/G 11[kV]	발전기 단자 전압[kV]	0	0	0	1	50	11	☐
3	☐		1	0	4	0	제선 변전소 154[kV]	150.54	2 T/G 11[kV]	발전기 단자 전압[kV]	0	0	0	1	50	11	☐
4	☐		1	0	0	0	없음	0			0	0	0	0	0	0	☐
5	☐		2	0	0	4	신수전 <-> 서부변전소 1L	72.06	NO.9 G/T 11[kV]	유효 발전량 [MW]	1	70	70	1	112.5	112.5	☐
6	☐		2	0	0	2	압연<-> 서부 변전소 1L	66.77	5 T/G 11[kV]	유효 발전량 [MW]	1	90	90	1	100	100	☐
7	☐		2	0	0	2	압연<-> 서부 변전소 1L	65.09	6 T/G 11[kV]	유효 발전량 [MW]	1	90	90	1	100	100	☐
8	☐		2	0	0	0	없음	0			0	0	0	0	0	0	☐

그림 10, 11은 상기의 교정절차를 거치면서 계통의 운전조건을 만족해 나가는 과정을 보여주고 있다.

그림 10은 전압 운전조건이 최소 150.02[kV], 최대 157.08[kV]로 운전 중인 계통에서 기저상태에서 최대 위반된 모선이 149.25[kV]로 운전조건을 위배한 경우 3단계를 거치면서 운전조건내로 들어감을 볼 수 있다. 그림 11은 선로운전 조건이 용량의 65%로 운전 중인 계통에서 기저상태에서 최대위반선로가 72.06%로 운전조건을 위배한 경우 3단계의 교정절차를 거치면서 운전조건을 만족해 가는 과정을 볼 수가 있다.

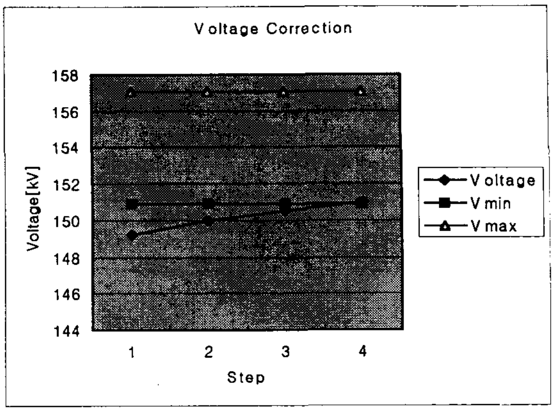

그림 10 단계별 전압 교정 결과

Fig. 10 Results of voltage correction

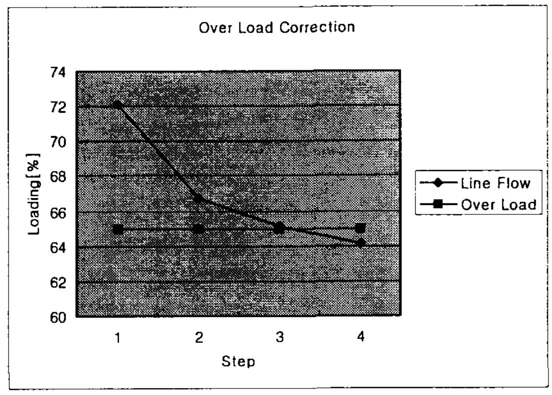

그림 11 단계별 과부하 교정 결과

Fig. 11 Results of overload correction

6. 결 론

본 논문에서는 계통 운전자로 하여금 안전적이고 효율적인 계통 운용을 함에 있어 의사판단에 도움을 주는 전력계통 가이던스 시스템에 대해 서술하였다. 개발된 알고리즘은 광양 제철소 실계통에 적용하여 그 효율성과 타당성을 입증하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 계통 이상상태 즉 모선의 전압위배사항, 선로 과부하 등을 해소하기 위해서 각 설비들 간의 민감도를 이용하여 계통 운용상의 효율성과 함께 계산 시간을 단축함으로 실시간 적용이 가능하게 하였다.

둘째, 프로그램의 메모리 사용과 계산시간을 단축하기 위해 기저상태의 전력조류계산시에는 소행렬을 사용한 고속 분할법을 적용하였으며 단계별로 진행되는 일련의 교정 조치과정에서 변화되는 계통의 상태는 민감도를 이용하여 계산 시간상의 부담을 감소시킬 수 있었다.

셋째, 전력계통을 구성하는 설비들을 시스템의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 구조로 만들기 위해서 각 설비들을 객체로 모듈화 하였으며 전체 계통의 구성은 객체들의 연결로써 표현하였다. 이러한 구조를 통해서 탐색 및 변경을 용이하게 하였다.

참 고 문 헌

[1] Wendy Sarrett., "Visual C++ 6 Database Programming." 정보문화사, 1999.

[2] 김정년, 백영식 "객체지향기법을 이용한 전력조류계산 및 스파시티 연구", 대한 전기 학회 논문집, pp.519-523, 1995.

[3] 김정년 "배전계통 최적 구성과 정전 복구" 경북대학교 대학원, 2000.

[4] B. Hakavik and A.T. Holen, " Power System Modelling and Sparse Matrix Operations Using Object- Oriented Programming",IEEE Trans. on Power System, vol. 9, No. 2, May 1994.

[5] Z. L. Gaing and C. N. Lu, " An Object-Oriented Approach for Implementing Power System Restoration Package", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No.1 Feb.1996.

[6] S. Liu, S. M, Shahidehpour, "An Object-Oriented Power System Graphial Package for Personal Computer Environment", IEEE Summer Power System meeting, Sealttle, WA, July , 1992.

[7] 박지호, "전력계통의 온라인 안정도 해석", 경북대학교 대학원, 2000.

[8] 곽준혁, "실계통 적용을 위한 전력조류계산 프로그램 개발" 경북 대학교 대학원, 2000.

[9] 이희춘, "광양제철소 전력계통분석 모의실험 및 전산기 적용방안 연구", POSCO, 1999

[10] Show-Kang Chang, Vladimir Brandwajn, "Adjusted solution in fast decoupled load flow", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 2, May 1998.

[11] Bansilal, D. Thukaram, K. Parthasarathy, "An expert system for voltage control in a power system network", IEEE Catalogue No. 95TH8130.

[12] James A. Momoh, Arunsi U. Chuku, "Application of expert system for improved contingency analysis and optimal correction" Electrical Engineering Department Howard University.

[13] Carlos A. Castro, Anjan Bose, "Correctability in online contingency analysis", IEEE Transctions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993.

[14] Carlos A.Castro, Anjan Bose, "Correctability of voltage violations in on-line contingency analysis", IEEE Transactions on Power System, Vol. 9, No. 3, August 1994.

[15] James A. Momoh, Arunsi U. Chuku, G. Powell, "Expert system aided contingency analysis and corrections", Electrical Engineering Department Howard University.

[16] M. Moghavvemi, O. Faruque, "Real-time contingency evaluation and ranking technique" IEE Proc-Gener. Transm. Distrib. Vol 145. No. 5, September 1998.

[17] Antonio Gomez Exposito, Jose L. Martinez Ramos, Jose L. Ruiz Macias, Yolanda Cuellar Salinas, "Sensitivity-based reactive power control for voltage profile improvement", IEEE Transactions on Power System, Vol. 8, No. 3, August 1993.

[18] O. Alsac, B. Stott, W. F. Tinney, "Sparsity-Oriented Compensation Methods for Modified Network Solutions", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.5, May 1983.

저 자 소 개

오 승 렬(吳 承 烈)

1973년 5월 11일생. 2000년 금오공대 컴퓨터공학과. 2002년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 LG산전(주) 전력시험 기술센터 재직

TEL : 053-940-8802

E-Mail : ohlemon@kebi.com

백 영 식 (白 榮 植)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.

Tel : (053)950-5602

E-mail : ysbaek@bh.kyungpook.ac.kr

김 정 년(金 定 年)

1969년 2월 21일생. 1994년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과졸업(공박). 1998년~현재 LG전선(주) 전력연구소 재직

TEL : 054-469-7627

E-Mail : jnkim@cable.lg.co.kr

한 무 호(韓 武 豪)

1969년 3월 7일생. 1992년 경북대 공대 전자공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전자공학과(박사수료). 1993년~현재 포항산업과학 연구원 재직

TEL : 054-279-6752

E-Mail : mhhan@rist.re.kr