

線路切換에 의한 過負荷 解消 알고리즘

An Overload Alleviation Algorithm by Line Switching

朴 圭 弘* · 鄭 在 吉**
(Kyu-Hong Park · Jai-Kil Chung)

Abstract - This paper presents a new algorithm for the countermeasure to alleviate the line overloads due to contingency without shedding loads in a power system. This method for relieving the line overloads by line switching is based on obtaining the line outage distribution factors - the linear sensitivity factors, which give the amount of change in the power flow of each line due to the removal of a line in a power system. These factors are made up of the elements of sparse bus reactance matrix and branch reactances.

In this paper a fast algorithm and program is presented for obtaining only the required bus reactance elements which corresponds to a non - zero elements of bus admittance matrix, and elements of columns which correspond to two terminal buses of the overloaded(monitored) line. The proposed algorithm has been validated in tests on a 6-bus and the 30-bus test system.

Key Words : Line Overload Alleviation(선로 과부하 해소), Line Switching(선로 절환), Line Outage Distribution Factors(선로 개방분배계수), Sparse Bus Reactance matrix(스파스 모션리액턴스행렬)

1. 서 론

*正 會 員 : 大 林 專 門 大 電 氣 科 副 教 授 · 工 博
**正 會 員 : 中 央 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博
接 受 日 字 : 1991年 10月 28日
1 次 修 正 : 1992年 2月 18日

최근 電力系統은 電力需要의 급격한 증가와 더불어 복잡화, 거대화되어 가고 있으며 이에 따라 事故를 일으킬 수 있는 부분은 각 母線, 線路등

대단히 많으며 系統의 어느 부분에서 突發的인 事故가 발생하더라도 이들 事故가 다른 健全한 부분에 波及되지 않도록 빠른 시간내에 적절한 事故對策이 필요하다.

想定事故中 대표적인 것으로는 突發的인 線路脫落 事故로서 이 경우 다른 線路들의 電力潮流가 변하여 過負荷가 될 수 있다.

線路脫落 想定事故時 過負荷 線路의 過負荷 解消對策으로는 우선 가능한 한 負荷를 遮斷하지 않고 解消할 수 있는 對策이 요구되며 그 對策으로는 다음과 같은 방법이 있다. [1~7]

- (1) 發電力 調整에 의한 線路潮流 再配分 방법
- (2) 移相器(phase shifter)의 母線電壓 位相角 제어에 의한 電力潮流 再配分 방법
- (3) 線路切換(line switching)에 의한 電力潮流 再配分 방법
- (4) 負荷遮斷 및 母線注入電力 調整에 의한 電力潮流 再配分 방법 등이 있다.

이중 (1), (2)에 의한 방법이 이상적 이나 (1)에 의한 방법은 계산시간이 문제가 되며 (2)의 방법은 별도의 移相器를 설치하여야 하는 문제점이 있다.

(3)의 방법은 過負荷線路 이외의 線路切換에 의하여 過負荷線路의 潮流를 감소시켜 過負荷를 解消하는 방법이다.

(4)의 방법은 (1)~(3)의 방법에 의하여 過負荷 解消가 불가능할 경우에만 합리적인 부하차단에 의하여 過負荷를 解消시키는 방법이다.

따라서 본 논문에서는 (3)의 방법에 의한 過負荷 解消 對策에 관하여 중점을 두고 계산속도의 향상 및 계산기의 기억용량 절감 방법을 제시 하고자 한다.

(3)에 의한 방법은 일반적으로 過負荷量이 클 경우에는 過負荷 解消가 불가능하므로 이 경우에는 (4)의 방법에 의하여 線路의 過負荷를 解消하는 방법을 사용하고자 한다. [3]

(3)의 방법은 開放線路의 開放시 電力潮流변화에 대한 過負荷線路의 電力潮流變化를 나타내는 感度係數인 線路開放分配係數를 사용하는 방법으로 이 分배계수가 負인 것만을 택하여 過負荷線路의 過負荷를 해소하는 방법이다. 이 線로 개방분배 계수는 일반적으로 開放線路의 兩端母線 구동점 임피던스와 양단모선간의 전달임피던스 및 과부하 선로의 양단모선과 개방선로의 양단모선간의 전달 임피던스의 함수로 표시된다. 따라서 線路開放分配係數의 계산에 필요한 모선임피던스 요소는 다음과 같이 구한다.

우선 直流潮流 계산법에서와 같이 線路의 저항분은 작으므로 무시하고 線로의 리액턴스 성분만에 의한 모선어드미턴스 행렬을 구성하고 이행열이 매우 疎(sparse)한 성질을 이용하여 非零要素만을 1차원으로 기억시키고 이의 역행열인 모선임피던스 행렬의 요소는 雙三角化 分解法을 이용하여 전부 구하지 않고 모선어드미턴스 행렬의 非零要素에 대응되는 위치의 요소 및 개방하고자하는 선로의 양단모선과 과부하선로 양단모선간의 전달 임피던스만을 구하면 된다.

또한 線로를 절환한 후 과부하 해소 여부를 확인하기 위하여 다시 조류 계산을 하지아니하고 線路開放分配係數를 이용하여 선로절환후 각 선로의 조류변화를 간단히 계산 확인토록 하였다.

따라서, 본 논문은 過負荷線路의 過負荷 解消 대책시 계산시간 및 기억용량을 대폭 경감시킬 수 있다.

2. 線路의 過負荷 解消 對策

2.1 過負荷 解消 對策의 概要

상정사고시 발생하는 선로의 過負荷 解消對策으로는 가능한 한 負荷를 遮斷하지 않고 해결할 수 있는 對策이 요구된다. 따라서 본 논문에서도 과부하 선로 이외의 임의의 선로를 開放(line switching)할때 과부하선로의 전력을 가장 크게 감소시킬 수 있는 선로를 찾아서 이 선로를 開放함으로써 過負荷線路의 過負荷를 효과적으로 解消시킬수 있는 방법을 제시한다.

이 방법에서는 개방하고자하는 선로의 전력조류에 대한 과부하선로의 전력조류 변화를 나타내는 線路開放分配係數(line outage distribution factors)를 사용함이 편리하다.

線路開放分配係數를 사용할 경우 過負荷線路의 電力潮流式은 식(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$P_l^a = P_l + d_{(l,k)} P_k \tag{1}$$

여기서,

P_l : 모선 i 에서 모선 j 로 흐르는 과부하선로 l 의 有効電力

P_k : 모선 n 에서 모선 m 으로 흐르는 개방선로 k 의 有効電力

P_l^a : 선로 k 의 開放후 과부하선로 l 의 有効電力

$d_{(l,k)}$: 線路開放分配係數(선로 k 의 개방시 선로 l 의 전력변화에 대한 感度係數)

식(1)의 정의에 따라 P_l 과 P_k 의 값은 항상 정이므로 선로개방분배계수의 값이 負일 경우에는 線路 k 의 開放後 過負荷線路 l 의 電力은 減少하므로 過負荷를 減少 또는 解消시킬 수 있다.

따라서 주어진 과부하선로 l 에 대한 다른 각선로의 선로개방분배계수를 구하여 그 값이 負인 선로만을 택하여 절대값이 큰순서에 따라 식(1)에 의하여 그선로의 開放後에 過負荷線路의 過負荷解消 여부를 判定하여 解消시킬 수 있다. 이때 선로의 과부하해소를 위한 소요계산시간은 線路開放分配係數를 구하는데 대부분이 소요되며 또 이 선로개방분배계수는 식(2)과같이 모션리액턴스(모션임피던스)행렬 要素의 함수로 표시되므로 결국 모션리액턴스 행렬의 要素를 구하는데 대부분이 소요된다. 따라서 본논문에서는 이 모션리액턴스行列의 要素를 효율적으로 빠른 시간내에 구하는데 중점을 두고 그 技法을 제시 한다.

2.2 線路開放分配係數

線路開放分配係數($d_{l,k}$)는 전술한바와 같이 개방선로 k 를 개방한후 과부하선로 l 의 전력조류 변화를 나타내는 感度係數라고 할 수 있다. 이를 수식적으로 표현하면 다음식과 같다. [1, 5]

$$d_{l,k} = \frac{\Delta f_l}{f_k^o} = \frac{1}{x_l} \frac{(\Delta \theta_i - \Delta \theta_j)}{f_k^o} = \left[\frac{X_{in} - X_{jn} - X_{im} + X_{jm}}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - 2X_{nm})} \right] \begin{bmatrix} x_k \\ x_l \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,

- f_k^o : 개방 대상 선로 k 의 개방전 電力潮流
- Δf_l : 선로 k 의 개방시 과부하 선로 l 의 電力潮流의 변화량
- $\Delta \theta_i, \Delta \theta_j$: 각각 과부하 선로 l 의 양단모선 i 및 j 의 電壓位相角
- x_l, x_k : 각각 선로 l 및 k 의 리액턴스
- X_{nn}, X_{mm} : 각각 개방선로 k 의 양단모선 n 및 m 의 구동점 리액턴스
- X_{nm} : 개방선로 k 의 양단모선 n 과 m 간의 전달 리액턴스
- $X_{in}, X_{jn}, X_{im}, X_{jm}$: 각각 과부하 선로 l 의 양단 모선 i 및 j 와 개방선로 k 의 양단모선 n 와 m 간의 전달 리액턴스

또한 선로개방분배계수 $d_{l,k}$ 의 부호는 개방선로의 개방전 전력조류가 모선 n 에서 모선 m 방향 (+방향)이며 과부하선로 l 의 전력조류는 모선 i 에서 모선 j 방향 (+방향)일 경우이므로 상정사고시

전류조류의 방향이 변하면 선로개방분배계수 $d_{l,k}$ 의 부호도 바뀌어져야 한다.

2.3 소요 母線 리액턴스 計算 알고리즘

선로개방분배계수는 식(2)와 같이 모션리액턴스행렬 요소의 함수로 표현된다.

모션리액턴스 행렬은 선로의 저항분을 무시한 모션임피던스 행렬로서 모션임피던스 행렬을 구하는 방법은 1) 모션어드미턴스 행렬을 형성한후 이의 역행렬을 구하는 방법과 2) 특수한 알고리즘을 사용하여 점차적으로 모션 임피던스 행렬을 구하는 방법으로 대별할 수 있으나 大電力系統의 경우, 계산기의 기억용량, 계산시간, 라운드 오프 에러(round off error)에 의한 累積 誤差, 프로그램의 일반성등의 문제점이 있다.

그러나 線路開放分配係數 계산에는 그림1에서 표시된바와 같이 개방 하고자 하는 선로 k 의 양단 모선의 구동점 리액턴스 X_{nn}, X_{mm} 과 양단모선간의 전달리액턴스 X_{nm} 및 過負荷線路 l 의 兩端母線 i, j 와 開放線路 k 의 兩端母線 n, m 간의 전달리액턴스 $X_{in}, X_{im}, X_{jn}, X_{jm}$ 만이 필요하고 또 과부하선로는 감시선로로 지정되어 i, j 는 고정되므로 이들 要素는 다음과 같은 방법에 의해 간단히 구할 수 있으며, 따라서 계산기의 기억용량 및 계산시간을 대폭적으로 경감시킬수 있다.

2.3.1 母線 어드미턴스의 構成

모션리액턴스 행렬의 요소를 효율적으로 구하기

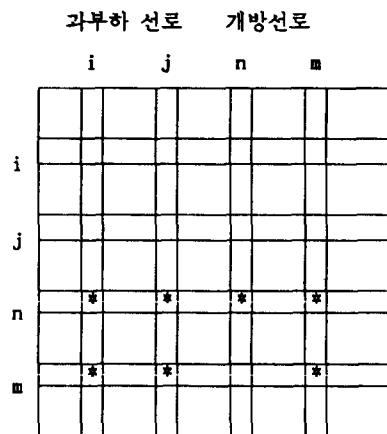


그림 1 線路開放分配係數 계산에 필요한 母線 리액턴스 要素

Fig. 1 X Matrix Terms Required for d Factors.

위해서는 먼저 모션어드미턴스 행렬을 구성한후 이를 雙三角化 分解法을 사용하여 구한다.

모션어드미턴스 행렬은 對稱行列이고 매우 疎한 성질을 갖고 있으므로 우선 선로의 原始임피던스 입력시 線路兩端母線番號 및 그 인덱스(index)와 모션임피던스 값을 함께 기억시키고 모션어드미턴스행렬의 대각요소는 모션번호에 따라 1次元으로 기억 시키며 비대각요소는 非零要素만을 선로번호에 따라 1차원으로 기억 시킨다. 이때 이 모션어드미턴스행렬의 雙三角化分解時 새로운 비영요소의 출현을 최소로 억제 하기위하여 먼저 最適母線番號附興法을 적용한다. [9]

2.3.2 모션어드미턴스의 雙三角化 分解法

모션어드미턴스 행렬을 雙三角分解(L·D·L^T분해)하는 알고리즘은 식(3)과 같다.

$$d_{ii} = Y_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik}^2 \cdot d_{kk}$$

$$l_{ij} = \left(Y_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} \cdot l_{jk} \cdot d_{kk} \right) / d_{jj} \quad (3)$$

이때 대각요소 d_{ii}는 모션순번대로, 비대각요소 l_{ik}는 非零要素(쌍삼각화 분해시 새로 출현하는 非零要素 포함)만을 선로 순서대로 1차원으로 기억 시킨다.

2.3.3 모션어드미턴스의 非零要素에 대응되는 위치의 모션리액턴스 계산[9]

모션임피던스 행렬은 정의에 따라 Z=Y⁻¹로 표시되므로 식(4)과 같이 표시할 수 있다.

$$Y \cdot Z = Z \cdot Y = I \quad (4)$$

여기서 모션리액턴스 행렬의 要素를 구하기 위하여 행렬 Y를 雙三角化分解하면 식(4)는 식(5)과 같이된다.

$$L \cdot D \cdot L^T \cdot Z = I \quad (5)$$

단,

- L : 단위 下三角行列
- D : 對角行列
- L^T : L의 轉置行列
- I : 單位行列

여기서 새로운 變數인 T와 W를 도입하면 다음과 같이 된다.

$$T = I - L^T$$

$$W = (L \cdot D)^{-1} = D^{-1} \cdot L^{-1} \quad (6)$$

식(6)를 식(5)에 代入하여 정리하면 식(7)과 같이 된다.

$$(I - T) \cdot Z = (L \cdot D)^{-1} = W$$

$$Z = W + T Z \quad (7)$$

식(7)의 변수 T는 單位行列에서 L의 轉置行列을 빼것이므로 대각선 요소가 零인 上三角行列이 되며 W는 D가 對角行列이므로 D⁻¹도 1/d_{ii}을 대각요소로 하는 대각행렬이되고, 따라서 W는 1/d_{ii}을 대각요소로 하는 下三角行列이 된다.

모션리액턴스 행렬은 對稱行列이므로 모션리액턴스 행렬의 上三角 要素만 구하면 되므로 식(7)에서 W요소는 對角要素인 1/d_{ii}만 이용하고 T요소는 대각요소가 0인 -L^T 행렬이므로 L요소의 非零要素만을 이용하여 모션리액턴스 행렬을 구한다.

모션리액턴스 행렬을 구하는 일반식은 식(8)과 같다.

$$Z_{ij} = \sum_{k=i+1}^N t_{ik} \cdot Z_{kj} \quad (i < j, i < k)$$

$$Z_{ii} = W_{ii} + \sum_{k=i+1}^N t_{ik} \cdot Z_{ki} \quad (8)$$

전력계통에 있어서 모션어드미턴스 행렬은 대칭행렬이고 매우 疏하며 최적모션번호 부여법에 의해 쌍삼각화 분해할 경우 새로운 비영요소의 출현을 크게 감소시킬 수 있으므로 쌍삼각화 분해행렬도 매우 疏하다.

식(6)의 T행렬 요소 t_{ik} (k>i)는 雙三角化分解時 L^T의 요소가 零要素인 경우에는 모두 零이되며 모션리액턴스 요소인 Z_{ii}, Z_{ij}계산시 식(8)의 t_{ik}·Z_{ki} 및 t_{ik}·Z_{kj}의 계산에 이용되지 않는다. 여기서 t_{ik}=0라는 것은 모션 i와 k간에 선로가 접속되어 있지 않음을 뜻하므로 L(또는 L^T)가 零要素인 위치에 대응되는 위치에 있는 모션리액턴스 요소의 값을 구할 필요가 없다. 따라서 모션어드미턴스행렬의 非零要素(쌍삼각화분해시 새로 출현하는 비영요소포함)에 대응되는 위치의 모션리액턴스 要素만 구한다.

이 모션리액턴스 행렬요소들을 구하고 기억시키는 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

모션리액턴스 행렬의 대각요소는 모션순번대로(계산은 역순) ZD(JD)와 같이 기억시키고, 구하고자 하는 모션리액턴스 행렬의 非零要素는 선로순번대로 Z(JSN)과 같이 1차원으로 기억시킨다. 그절차는

- 1) KI(I)인덱스를 이용하여 구하고자 하는 모션리액턴스 행렬의 I행의 非零要素의 수 및 非零要素의 순번(JS=K1, K2, …)을 찾는다.
- 2) KT(JS)를 이용하여 식(8)에서 모션리액턴스

행렬 Z_{kj} 에서 열번호 J 를 찾고 다른 $KT(K1)$ (또는 $KT(K2))=JK, K=I+1$ 에서 N (모선수)까지의 번호를 비교하여 같을 경우 T_{ik} 및 Z_{kj} 의 번호 K 를 찾는 다음 K 와 J 를 비교하여 $Z(I)$ 를 구한다.

3) $K=J$ 일 경우 $Z(JS)=Z(JS)+T(K1) \times ZD(JK)$ 로 되고 $K1$ 은 별도 기록함.

4) $K < J$ 일 경우 임의의 IK 선로가 모선 K, J 양단에 접속되어있는가를 확인하여 즉 $KF(IK)=K, KT(IK)=J$ 가 되면 $Z(JS)=Z(JS)+T(K1) \times Z(IK)$ 가 되고

5) $K > J$ 일 경우 IK 선로가 모선 K, J 양단에 접속되어 있는가를 확인하여 즉 $KF(IK)=J, KT(IK)=K$ 가 되면 $Z(JS)=Z(JS)+T(K1) \times Z(IK)$ 가 된다.

6) 다음 모선임피던스의 대각요소 $ZD(I)$ 는 그 행에 해당하는 비대각요소를 구 할때마다 식(8)과 같이 $T(K1) \times Z(K1)$ 을 구하여 $ZD(I)$ 에 합하면 된다.

단, $KI(I)$: 모선리액턴스행렬의 상삼각부분의 I 행의 첫번째 非零要素순번.

$KF(JS), KT(JS)$: 각각 모선리액턴스 행렬의 非零要素의 행 및 열의 번호. ($KF(JS) < KT(JS)$)

2.3.4 과부하선로 양단모선과 개방선로 양단모선간의 전달리액턴스 계산

모선어드미턴스의 쌍삼각화분해후 모선리액턴스 행렬중 $X_{in}, X_{im}, X_{jn}, X_{jm}$ 의 要素는 식(9)에서 구할 수 있다.

$$[L] \cdot [D] \cdot [L]^T \cdot [X] = [b] \tag{9}$$

먼저 예벡터 $[b]$ 의 i 번째 要素만 1이고 나머지 要素는 모두 0으로 하여 구한 $[X]$ 값중 n 번째 요소와 m 번째 요소를 구하고 다시 열벡터 $[b]$ 의 j 번째 요소만 1이고 나머지 요소는 모두 0으로 하여 구한 $[X]$ 값중에서 n 번째 요소 및 m 번째 요소를 구하면 상기 4요소를 모두 구할수 있다.

그 解法은 $[D] \cdot [L]^T \cdot [X] = [V]$ 라 놓고 $[L] \cdot [V] = [b]$ 에서 새로이 도입한 열벡터 $[V]$ 를 구하고 다시 $[D] \cdot [L]^T \cdot [X] = [V]$ 에서 $[X]$ 를 구한다.

이때 $[V]$ 및 $[X]$ 를 구하는 일반식은 다음과 같다.

$$V_i = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} l_{ij} \cdot V_j$$

$$X_i = V_i / D_{ii} - \sum_{j=i+1}^N l_{ji} \cdot X_j \tag{10}$$

모선리액턴스 행렬중 X_{nn}, X_{mm}, X_{nm} 要素는 개방대상선로가 변경됨에 따라 모선 n 과 m 의 값은

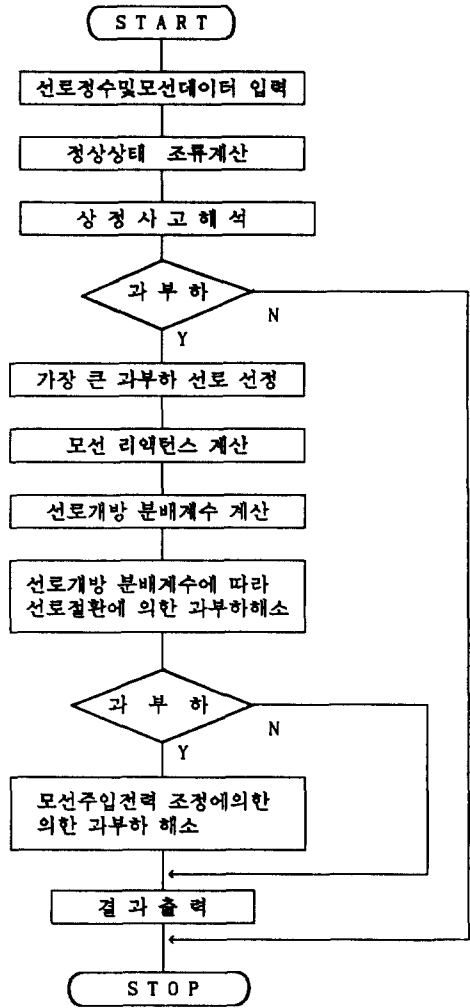


그림 2 主 프로그램 흐름도
Fig. 2 Flowchart of Main Program

변하므로 전모선의 구동점리액턴스와 선로양단모선간의 전달리액턴스는 구할 필요가 있으나 모선리액턴스의 모든 要素를 구할 필요는 없다. 따라서 모선어드미턴스 행렬의 對稱性 및 疎(sparse)한 성질을 이용하여 모선리액턴스 행렬의 모든 要素를 구하지 아니하고 모선어드미턴스 행렬의 非零要素에 대응되는 위치의 要素(雙三角化 分解時 출현하는 非零要素 포함)만 구함으로써 모든 선로의 開放時 上記 4要素를 구할수 있다.

선로절환 및 모선주입전력조정에 의한 과부하해소대책에 관한 흐름도는 그림2와 같다.

3. 모델 系統에의 적용예

본 논문에서 제시한 알고리즘 및 프로그램에 관한 効用性을 입증하기 위하여 모델系統으로 그림 3, 그림4와 같은 6모선 및 30모선系統을 선정하여 적용하였다. [8]

6모선 系統에 대한 상정사고 대책결과는 표1과 같다. 상정사고시 선로절환만으로 과부하 해소가 되지 아니 할 경우도 있지만 이 경우에는 참고문헌3에서 제시한 모선주입전력을 조정함으로써 해소토록 하였다.

표1에 의하면 3번, 7번 선로 탈락시 6번선로가 각각 110%, 114%의 과부하가 발생하였다. 이를

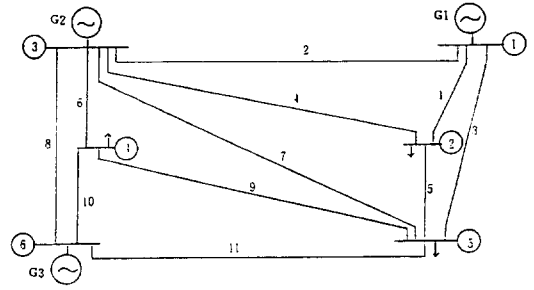


그림 3 6모선 모델系統도
Fig. 3 Model Diagram of 6-Bus System

표 1 6모선系統 想定事故 對策결과

Table 1 Results of the 6-Bus System

사 례	사고선로	과부하선로 (과부하량%)	선로절환번호 (d계수)	절환후 선로조류 (부하량%)	비 고
1	3	6(110)	9(-0.65)	6(97)	
2	7	6(114)	8(-0.67)	6(86)	

표 2 사례2에 대한 조류계산 결과비교

Table 2 Comparison of two Load Flow Calculation Methods for the Case 2 (100MVA기준)

선로 번호	모 선 번 호		선 로 용 량	정 상 조 류	7번선로탈 락시조류	8번선로절환시조류		d계수
	부터	까지				분할법이용	d계수이용	
1	1	2	1.06	.738	.729	.732	.734	0.19
2	1	3	1.06	.108	.192	.148	.145	-.168
3	1	5	.65	.308	.402	.355	.344	-.208
4	2	3	.70	.475	.561	.516	.510	-.184
5	2	5	.70	.003	.072	.031	.017	-.198
6	3	4	.65	.640	.739	.559	.575	-.590
7	3	5	.65	.317	.000	.000	.000	.000
8	3	6	.65	.328	.279	.000	.000	.000
9	4	5	.65	.070	.143	.137	.126	-.060
10	4	6	.84	.647	.636	.802	.818	.650
11	5	6	.92	.537	.616	.709	.761	.520

표 3 30모선系統 想定事故 對策결과

Table 3 Results of IEEE 30-Bus System

사 례	사고선로	과부하선로 (과부하량%)	선로절환번호 (d계수)	절환후선로 조류 (부하량%)	비 고
3	35	11(110)	36(-0.39)	11(87)	
		12(116)		12(84)	
4	38	13(117)	41(-0.29)	13(98)	

표 4 30모선계통 사례별 선로조류

Table 4 Line Load Flow for the Case of the 30 - Bus System

(100MVA기준)

선로 번호	모선번호		선로 용량	정상조류	사 례 3		사 례 4	
	부터	까지			35번 선로 탈락	36번 선로 절환	38번 선로 탈락	41번 선로 절환
1	1	11	.20	.179	.179	.179	.179	.179
2	2	23	.35	.169	.169	.169	.169	.169
3	3	14	.05	.028	.029	.031	.027	.027
4	3	27	.10	.022	.021	.019	.022	.023
5	4	12	.05	.025	.025	.025	.025	.025
6	5	18	.05	.004	.014	.016	.004	.004
7	5	26	.25	.091	.101	.103	.091	.091
8	6	7	.05	.030	.030	.030	.030	.030
9	6	13	.10	.050	.050	.050	.050	.050
10	7	13	.05	.040	.040	.040	.040	.040
11	8	23	.10	.050	.110	.087	.051	.051
12	8	24	.05	.005	.058	.042	.006	.006
13	9	10	.10	.074	.075	.078	.117	.098
14	9	28	.40	.175	.176	.179	.219	.199
15	10	27	.40	.175	.173	.171	.131	.151
16	11	26	.35	.190	.202	.232	.186	.186
17	11	27	.10	.011	.022	.053	.007	.006
18	12	13	.05	.010	.019	.028	.009	.009
19	12	25	.05	.015	.007	.002	.016	.016
20	13	14	.20	.102	.110	.119	.101	.100
21	14	27	.15	.074	.081	.088	.073	.073
22	15	16	.10	.010	.014	.024	.012	.013
23	15	24	.10	.026	.002	.008	.028	.029
24	16	17	.10	.036	.061	.071	.035	.034
25	17	26	.10	.048	.072	.082	.046	.045
26	18	25	.10	.050	.067	.069	.050	.050
27	18	26	.10	.046	.053	.054	.046	.046
28	19	24	.10	.041	.016	.005	.043	.043
29	19	25	.05	.009	.016	.027	.011	.011
30	20	21	.10	.008	.032	.004	.011	.012
31	20	23	.10	.043	.067	.031	.046	.047
32	21	26	.05	.017	.007	.029	.014	.013
33	22	29	.35	.125	.124	.121	.172	.242
34	22	30	.45	.149	.148	.145	.196	.266
35	23	24	.20	.107	.000	.000	.110	.111
36	23	29	.25	.088	.064	.000	.095	.096
37	26	27	.10	.042	.048	.066	.040	.039
38	27	28	.40	.164	.168	.173	.000	.000
39	27	29	.40	.117	.138	.187	.229	.248
40	28	29	.30	.141	.139	.133	.216	.165
41	28	30	.70	.124	.128	.130	.079	.000

표 5 사례4에 대한 조류계산 결과비교
Table 5 Comparison of two Load Flow Calculation Methods for the Case 4

(100MVA기준)

선로 번호	모선번호		선로용량	정상조류	38번 선로 탈락시조류		41번선로정원시조류계산 분할법이용		d계수
	부대	대기			분할법이용	d계수이용			
1	1	11	.20	.179	.179	.179	.179	.000	
2	2	23	.25	.169	.169	.169	.169	.000	
3	3	14	.05	.028	.027	.027	.027	.000	
4	3	27	.10	.022	.022	.022	.022	.000	
5	4	12	.05	.025	.025	.025	.025	.000	
6	5	18	.05	.004	.004	.004	.004	.000	
7	5	26	.25	.091	.091	.091	.091	.000	
8	6	7	.05	.030	.030	.030	.030	.000	
9	6	13	.10	.050	.050	.050	.050	.000	
10	7	15	.05	.040	.040	.040	.040	.000	
11	8	23	.10	.050	.051	.051	.051	.003	
12	8	24	.05	.005	.006	.006	.006	.003	
13	9	10	.10	.074	.117	.096	.087	.382	
14	9	28	.40	.175	.219	.199	.189	.382	
15	10	27	.40	.175	.131	.131	.161	.382	
16	11	26	.25	.190	.186	.186	.185	.012	
17	11	27	.10	.011	.037	.006	.006	.012	
18	12	13	.05	.010	.009	.009	.008	.010	
19	12	25	.05	.015	.016	.016	.017	.010	
20	13	14	.20	.102	.101	.100	.100	.010	
21	14	27	.15	.074	.073	.073	.073	.002	
22	15	16	.10	.010	.012	.013	.013	.010	
23	15	24	.10	.026	.026	.026	.029	.010	
24	16	17	.10	.036	.036	.034	.034	.101	
25	17	26	.10	.048	.046	.045	.045	.010	
26	18	25	.10	.050	.050	.050	.050	.003	
27	18	26	.10	.045	.046	.046	.046	.000	
28	19	24	.10	.042	.043	.043	.044	.011	
29	19	25	.05	.009	.011	.011	.012	.011	
30	20	21	.10	.008	.011	.012	.012	.014	
31	20	23	.10	.043	.046	.047	.047	.014	
32	21	25	.05	.017	.014	.013	.013	.014	
33	22	29	.25	.125	.172	.242	.251	1.000	
34	22	30	.45	.149	.196	.266	.275	1.000	
35	23	24	.20	.107	.110	.111	.111	.007	
36	23	29	.25	.088	.095	.096	.098	.029	
37	26	27	.10	.042	.040	.039	.039	.009	
38	27	28	.40	.164	.060	.000	.000	.000	
39	27	29	.40	.117	.229	.248	.246	.213	
40	28	29	.30	.141	.216	.165	.168	.608	
41	28	30	.70	.124	.079	.000	.000	.000	

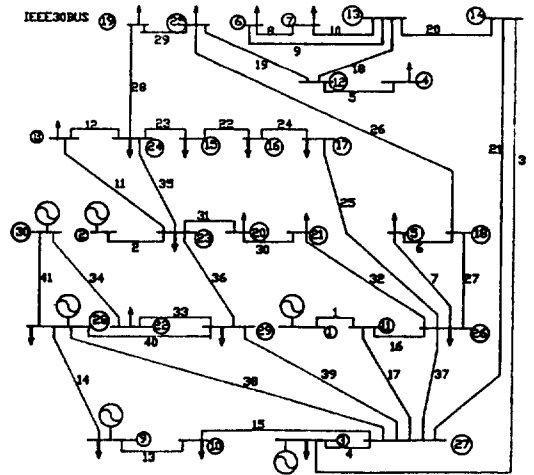


그림 4 30모선 모델계통도
Fig. 4 Model Diagram of 30-Bus System

4. 結 論

본 논문은 想定事故에 기인한 線路의 過負荷解消對策을 수립함에 있어서 수용가에 대한 정전 없는 電力供給이 우선하여야 하므로 가능한 한 부하 차단 없이 빠른 시간내에 선로개방분배계수를 이용한 線路切換 방법만에 의하여 線路의 電力潮流를 再分配함으로써 過負荷를 解消하는 방법을 제시하였다.

또한 선로절환후 과부하 해소여부 또는 새로운 과부하 발생여부를 확인할 경우에는 전력조류계산을 행하지 않고 線路開放分配係數만을 이용함으로써 신속하면서도 정확하게 조류분포를 계산할 수 있었다.

이에 필요한 線路開放分配係數 계산에는 모선임피던스 행렬의 요소가 필요하나 이 행렬의 모든 요소를 구하지 않고 실제 線路開放分配係數 계산에 필요한 최소한의 요소만을 구하도록 함으로써 계산시간을 대폭 감소 시켰다.

본 논문은 1991학년도 학교법인 대림학원 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] A.J. Wood, "Power Generation, Operation and Control," John Wiley, pp. 368~373, 1984

해소하기 위하여 負의 값을 가지는 선로분배계수 중 절대값이 큰선로인 9번, 8번 선로를 절환한바 각각 97%, 86%로 해소됨을 알 수 있었다. 선로절환후 과부하 해소여부 또는 새로운 과부하의 출현 여부를 알아보기 위하여서 다시 조류계산을 행하기 보다는 절환선로를 기준으로 하여 나머지 선로와의 線路開放分配系統(d계수)를 계산하여 식(1)의 방법으로 조류분포를 확인하는 것이 비교적 신속하면서도 정확하였다.

이를 입증하기 위하여 사례2에 대한 조류계산 비교결과를 표2에 나타냈다. 30모선 계통에 대한 상정사고 대책결과는 표3과 같다. 표4는 표3에 대한 사례별 조류분포로서 참고문헌8에 나타난 선로용량을 적용하였다.

사례3의 경우 35번 선로 개방시 11번, 12번 선로조류가 각각 선로용량의 110%, 116%까지 과부하로 되며 이를 해소하기 위하여 線路開放分配係數가 -0.39인 36번 선로를 절환함으로써 과부하가 해소됨을 나타냈다.

표5는 30모선계통에 대한 조류계산 비교결과를 나타냈다.

- [2] 朴圭弘, “電力系統의 想定事故 解析 및 對策에 관한 연구,” 학위논문, 중앙대, 1986
- [3] 朴圭弘, 鄭在吉, 安敏玉, “母線注入電力 調整에 의한 過負荷 解消 알고리즘,” 대한 전기 학회지, Vol. 39, No. 2, pp. 111~1184, 1990
- [4] N. Srinivasan, C.S. Indulkar, S. SVenkata, “On-Line Computation of Phase Shifter Distribution Factors And Lineload Alleviation.” IEEE Pas-104, pp. 1656~1662, July 1985
- [5] A.A. Mazzi, “Corrective Control of Power System flows by Line and BUS-BAR Switching,” IEEE, Vol. Pwrs-1, No. 3, pp. 258~264, Aug 1986
- [6] Elham B. Makram, “Selection of Lines To Be Switchied To Eliminate Overload Lines Using a Z Matrix Method,” IEEE, Vol. 4, No. 2, pp. 653~661, May 1989
- [7] A. Mohamed, G.B. Jasmon, “Realristic Power System Security Aigorithm,” IEE proc. pp. 98~105, March 1988
- [8] S. Shah, S.M. Shahidepour, “A Heuristic Approach to Load Shedding Scheme,” IEEE. Vol. 4, No. 4, pp. 1412~1329, October 1989
- [9] 변기식, “대전력 계통의 고장해석에 관한 효율적인 계산방법에 관한 연구,” 중앙대학교 학위논문, 1982

저 자 소개



박규홍(朴圭弘)
 1952년 2월 2일생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 중앙대 공대 전기공학과 강사 및 대림전문대 전기과 부교수.



정재길(鄭在吉)
 1936년 4월 24일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 졸업. 1984년 숭실대 대학원 전자공학과 졸업(공학). 현재 중앙대 공대 전기공학과 교수. 당학회 재무이사.