

ΔY_{bus} 분해법에 의한 다중사고 고장전류 해석

Simultaneous fault Current Analysis by the ΔY_{bus} Decomposition Method

文永鉉* · 吳龍澤** · 朴在用**

(Young-Hyun Moon · Yong-Taek Oh · Jae-Yong Park)

ABSTRACT

A fault current in Simultaneous faults is calculated, which satisfies the reliability for expansion of power scale. New algorithm for analyzing fault current is developed, which calculates exactly thevenin equivalent impedance from fault point by decomposing increment bus admittance matrix (ΔY_{bus}), and fault current is calculated by applying multiport theory. The significant results are as follows : 1) When system fault changes system configuration, equivalent impedance can be calculated simply with this new algorithm. 2) Mutual coupling of transmission line can be calculated efficiently. 3) Simultaneous fault current is analyzed by applying multi port theory, which can be applicable to large scale systems.

1. 서론

전력계통이 복잡화, 대규모화 함에 따라 계통에 돌발적으로 발생하는 사고에 대한 적절한 대책수립에 기본이 되는 것이 고장전류 전압에 대한 해석이다.

고장해석에 있어서 종래에는 단순사고만을 주로 취급하여 왔으며 단순사고 해석의 주목적은 고장이 계통에 미칠 수 있는 가장 심각한 상태에 대한 대책 수립이었으나 계통이 확장 됨으로써 보다 엄격한 안정도가 요구됨에 따라 다중사고에 대한 대책의 연구가 필요하게 되었으며 이에 관한 연구는 1970년 Dyriacco, Ramarao¹⁾가 해석 기법상 준다중사

고로 볼 수 있는 선로 중단사고(End fault)를 취급한 바가 있으며 1980년에 들어서면서 다중사고 해석의 필요성에 따라 Roy, Rao²⁾ 등은 다중상(poly phase)을 사용하여 개방사고를 포함한 다중사고 해석 방법을 제시하였다. 이 방법은 계통의 시물레이션이 정확하다는 장점은 있으나 계통 전체를 시물레이션 하는데는 행렬 차수가 너무나 방대하여 계산 시간이 길어지는 등 실제계통에의 적용에 어려운 점이 있다.

또한 Han³⁾은 다중 단자쌍(multi port)등가회로사용에 의한 다중사고 해석법을 제시하였다. 이 방법은 고장 단자쌍 행렬 방법을 도입하여, 다중사고 해석을 하는 기본 방법을 제시하고 있으며 2중사고의 경우 2 단자쌍 회로로 시물레이션 될 수 있는 2 단자쌍 파라메타 계산법 및 대칭 좌표법에 의한 정상, 역상, 영상고장전류 계산법을 제시하고 있다. 그러나 이 방법에서도 고장 단자쌍 행렬 파라메터 계산의 기본 원리만 제시하고 있으며 선로단 사고 해석이 복잡하고 이론이 명확히 정리되지 못

*正會員: 延世大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

**正會員: 延世大 大學院 電氣工學科 · 工博

***正會員: 延世大 大學院 電氣工學科 · 碩士

接受日字: 1987年 6月13日

1次修正: 1987年 10月29日

2次修正: 1988年 1月24日

하였고 대규모 계통 적용시 파라미터 계산에 많은 시간이 소요되며 다중사고에 의한 계통 변화가 있을 때에는 모선 임피던스 행렬을 다시 구성하여야 하므로 실계통에의 적용을 위해서는 상당한 개선이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 다중사고 해석에 있어서, 고장에 따른 모선 어드미턴스 변화분(ΔY_{bus})를 분해하여 등가 임피던스를 계산하는 알고리즘을 개발하였으며 고장시의 계통변화에 대해서도 원래의 삼각인수표를 사용 함으로써 계산시간을 대폭 줄일 수 있도록 하였다. 또한 이 방법은 선로 상호결합(mutual coupling)을 비교적 간단히 처리할 수 있고 계산 속도를 현저히 개선시킬 수 있음이 실계통에 대한 적용 결과에서 입증되었다.

2. 다중사고 고장전류 해석

다중고장 해석은 일반적으로 정상 역상 영상에 대한 각각의 상회로 계통을 독립적으로 다루고, 각 상회로 계통에 대하여 고장점에서의 등가 다중단자쌍 회로를 구성함으로써 등가 단자쌍회로에 의한 고장전류 및 전압을 계산한다.

계통에 다중고장이 발생하면 각 고장점을 단자쌍으로서 정의하여 다중 단자쌍회로를 구성하여야 하며, 해석의 편의상 1 선지락, 2 상개방과 같이 각 상회로 전압의 총화가 0인 직렬형태의 고장과 2 선지락, 단상개방과 같은 각상회로 전류의 총화가 0인 병렬형태의 고장으로 분류하여 취급한다. 만일 고장형태의 분류에 따라 N개의 다른 형태 고장이 있는데 M개는 직렬형태 사고이고, N-M개의 병렬형태 사고로 생각할 때 직렬형태와 병렬형태를 분리하여 처리하면 다중 단자쌍 정상 역상, 영상회로 방정식은 아래식과 같다.

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_s(i) \\ \underline{V}_\rho(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{Z}_{ss}(i) & \underline{Z}_{s\rho}(i) \\ \underline{Z}_{\rho s}(i) & \underline{Z}_{\rho\rho}(i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_s(i) \\ \underline{I}_\rho(i) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \underline{V}_s^{(0,0)} \\ \underline{V}_\rho^{(0,0)} \end{pmatrix} \quad (1)$$

단 $(i) = 0, 1, 2$ 는 영상분 정상분 역상분을 나타낸다.

여기서 $\underline{V}_s(i), \underline{I}_s(i), \underline{V}_\rho(i), \underline{I}_\rho(i)$ 는 직렬형태고장 및 병렬형태 고장의 전압 전류이고 $\underline{V}_s^{(0,0)}, \underline{V}_\rho^{(0,0)}$ 는 직병렬형태 고장의 개방회로 전압이다. $\underline{Z}_{ss}(i), \underline{Z}_{s\rho}(i), \underline{Z}_{\rho s}(i), \underline{Z}_{\rho\rho}(i)$ 는 고장점의 등가 임피던스 행렬이다.

식(1)을 부분변환하고 고장해석을 위한 각 상회로를 구성할 수 있으며 각 상회로에서 고장점 단자

쌍의 전압 전류 관계식은 아래식과 같다.²⁾

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_s(i) \\ \underline{I}_\rho'(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{N}_s(i) \underline{A}_{ss}(i) \underline{N}_s^{-1}(i) \\ \underline{N}_\rho(i) \underline{A}_{\rho s}(i) \underline{N}_s^{-1}(i) \\ \underline{N}_s(i) \underline{A}_{s\rho}(i) \underline{N}_\rho^{-1}(i) \\ \underline{N}_\rho(i) \underline{A}_{\rho\rho}(i) \underline{N}_\rho^{-1}(i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_s(i) \\ \underline{V}_\rho(i) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \underline{N}_s(1) \underline{V}_s^{(0,0)} \\ \underline{N}_\rho(1) \underline{I}_\rho^{(0,0)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

단) $\underline{A}_{ss}(i) = \underline{Z}_{ss}(i) - \underline{Z}_{s\rho}(i) \underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(i) \underline{Z}_{\rho s}(i)$

$$\underline{A}_{s\rho}(i) = \underline{Z}_{s\rho}(i) \underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(i)$$

$$\underline{A}_{\rho s}(i) = -\underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(i) \underline{Z}_{\rho s}(i)$$

$$\underline{A}_{\rho\rho}(i) = -\underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(i)$$

$$\underline{V}_s^{(0,0)} = \underline{V}_s^{(0)} - \underline{Z}_{s\rho}(1) \underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(1) \underline{V}_\rho^{(0)}$$

$$\underline{I}_\rho^{(0)} = -\underline{Z}_{\rho\rho}^{-1}(1) \underline{V}_\rho^{(0)}$$

$\underline{V}_s'(i), \underline{I}_\rho'(i)$: 직렬형태의 각 상전압과 병렬형태의 각 상전류

여기서 다중사고의 시뮬레이션에 있어서 단자쌍 회로의 단자 경계조건을 적용 시키기 위하여 이상적 상변환 변압기를 사용하고 있으며 상기식에서 $\underline{N}_s(i)$ 와 $\underline{N}_\rho(i)$ 는 직렬형태 및 병렬형태 고장에 대한 회로의 상변환 권선비를 나타낸다.

고장점에 대하여 각 상회로 전압의 총화가 0인 직렬형태의 고장과 각 상회로 전류의 총화가 0인 병렬형태의 고장 경계조건을 식(2)에 대입하면 아래와 같은 식을 얻는다.²⁾

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_s(i) \\ \underline{V}_\rho(i) \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \underline{N}_s(i) & \theta \\ \theta & \underline{N}_\rho(i) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \underline{A}_{ss} & \underline{A}_{s\rho} \\ \underline{A}_{\rho s} & \underline{A}_{\rho\rho} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \underline{N}_s(1) \underline{V}_s^{(0,0)} \\ \underline{N}_\rho(1) \underline{I}_\rho^{(0,0)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\text{단 } \underline{A}_{ss} = \sum_{i=0,1,2} \underline{N}_s(i) \underline{A}_{ss}(i) \underline{N}_s^{-1}(i)$$

$$\underline{A}_{s\rho} = \sum_{i=0,1,2} \underline{N}_s(i) \underline{A}_{s\rho}(i) \underline{N}_\rho^{-1}(i)$$

$$\underline{A}_{\rho s} = \sum_{i=0,1,2} \underline{N}_\rho(i) \underline{A}_{\rho s}(i) \underline{N}_s^{-1}(i)$$

$$\underline{A}_{\rho\rho} = \sum_{i=0,1,2} \underline{N}_\rho(i) \underline{A}_{\rho\rho}(i) \underline{N}_\rho^{-1}(i)$$

상기식에서 직렬고장 형태의 단자쌍 전류와 병렬형태 고장의 단자쌍 전압이 구해질 수 있고 또한 식(2)에 대입 하므로써 직렬형태 고장전압과 병렬형태 고장전류를 계산할 수 있다.

3. ΔY_{bus} 분해법에 의한 다중사고 고장단자쌍 임피던스 계산

고장후의 등가 임피던스를 ΔY_{bus} 분해법으로 구하여 계산시간을 감소시키고, 구해진 고장점 등가

임피던스를 이용하여, 다중사고의 고장점 단자쌍 행렬을 구성하여 고장전류를 계산한다.

3.1 고장점의 모선 등가 임피던스 계산

계통에 다중사고가 발생할 때 다중사고의 각 고장점을 새로운 모선으로 취급하여 원래의 모선 임피던스 행렬을 수정하여야 하는데 모선 임피던스 행렬로부터 직접 고장 단자쌍 행렬을 구하는 것은 상당한 계산시간을 소요한다. 고로 고장에 따른 모선 어드미턴스 변화분 (ΔY_{bus})의 분해에 의하여 고장점 등가 임피던스를 계산하면 계산 시간을 대폭 감소시킬 수 있다.

일반적인 형태의 다중사고로서 그림1과 같이 선로 $i-j$ 와 선로 $p-q$ 에서 지락고장이 발생할 경우를 고려해보자.

여기서 k 와 k' 는 선로의 고장이 발생한 점이며 r 과 r' 는 고장 위치를 [%]거리로 각각 나타내면 모선과 고장점 사이의 선로 임피던스는 거리에 비례하는 것으로 가정한다. 그림1과 같은 사고 즉 선로의 지락사고는 두개의 모선수 및 선로수가 동시에 추가되므로 변화된 계통에 대한 새로운 등가 임피던스를 구하기 위해서는 branch 및 link 추가 과정으로 해석할 수 있다.

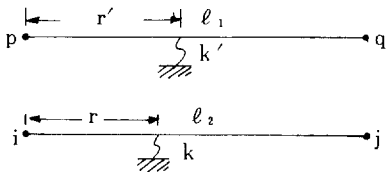


그림 1. 다중 고장 회로

Fig. 1. Simultaneous short circuit

따라서 고장후의 모선 임피던스는 고장선로를 계통에서 제거하고 고장전의 계통에 대한 모선 어드미턴스 행렬과 모선 임피던스 행렬간의 관계식을 유도하고 고장점의 연결을 고려하여 모선 어드미턴스과의 관계식을 유도한다. 이 과정을 단계적으로 설명하면 다음과 같다.

a) 다중사고의 선로를 분리한 형태의 원시 임피던스와 원시 어드미턴스의 관계식을 유도하고, 고장점을 두개의 노드(node)로 생각하여 두개의 노드를 추가하는 형태의 원시 임피던스 행렬을 구성할 수 있으며 유도한 관계식은 아래와 같다.

$$Z_{prim} = \begin{bmatrix} Z_0^R & Z_{0\alpha}(r, 1-r) & Z_{0\beta}(r', 1-r') \\ \begin{bmatrix} r \\ 1-r \end{bmatrix} Z_{\infty} & Z_{\infty} \begin{bmatrix} r & 0 \\ 0 & 1-r \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} r' \\ 1-r' \end{bmatrix} Z_{\infty} & 0 & Z_{\infty} \begin{bmatrix} r' & 0 \\ 0 & 1-r' \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (4)$$

단 Z_0^R 은 고장선로를 제외한 원시 임피던스 행렬이다.

또한 원시 어드미턴스와의 역행렬 관계를 이용하여 원시 어드미턴스 행렬을 계산하면 아래식과 같다.

$$Y_{prim} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

단 $y_{11} = y_0^R$

$$y_{21} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} y_{\infty}$$

$$y_{31} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} y_{\infty}$$

$$y_{22} = Z_{\infty}^{-1} \begin{bmatrix} r & 0 \\ 0 & 1-r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} (y_{\alpha\alpha} - z_{\alpha\alpha}^{-1}) (1, 1)$$

$$y_{33} = Z_{\infty}^{-1} \begin{bmatrix} r' & 0 \\ 0 & 1-r' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} (y_{\beta\beta} - z_{\beta\beta}^{-1}) (1, 1)$$

$$y_{23} = -Z_{\infty}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} Z_{\infty} y_{0\beta} (1, 1)$$

여기서 y_0^R 은 고장점을 제외한 원시 어드미턴스이고 y_{∞} 는 선로 $i-j$ 와 기존 선로간의 상호결합 어드미턴스이고 $y_{\beta 0}$ 는 선로 $p-q$ 와 기존 선로간의 상호결합 어드미턴스이며 $y_{\alpha\alpha}$ 와 $y_{\beta\beta}$ 는 선로 $i-j$ 와 $p-q$ 간의 자기 어드미턴스이다. 또한 $Z_{\alpha\alpha}$ 와 $Z_{\beta\beta}$ 는 선로 $i-j$ 와 $p-q$ 간의 선로 임피던스이고 Z_{∞} 와 Z_{∞} 는 기존 선로와 고장 선로간의 결합 임피던스이다.

b) 유도한 원시 임피던스와 원시 어드미턴스의 관계식을 고장점의 연결 관계를 고려하여 branch 및 link 동시 추가 알고리즘을 적용시켜서 접속 행렬을 구성하면 아래식과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} A_R & K_3 & K_4 \\ 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & J_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

단 A_R : 고장선로를 제외한 접속행렬

$$K_3 = \begin{bmatrix} 0 \cdots 0 & \textcircled{1} 1 & 0 & \textcircled{2} 1 & \cdots 0 \\ 0 & \cdots 0 & -1 & 0 & \cdots 0 \end{bmatrix}^T$$

$$K_4 = \begin{pmatrix} 0 \cdots 0 & \textcircled{p} & 0 & \textcircled{q} & \cdots & 0 \\ \cdots & 1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & -1 & 0 & \cdots \end{pmatrix}^T$$

$$J_1 = [-1 \quad 1]$$

$$J_2 = [-1, \quad 1]$$

여기서 K_3 는 고장선로 모선 i 와 j 에서 고장점 k 의 연결 관계를 보여주고 K_4 는 고장선로 모선 p 와 q 에서 고장점 k' 의 연결 관계를 나타내는 행렬이다. 구성된 접속 행렬식 (6)을 이용하여 식(7)로서 모션 어드미턴스를 구할 수 있다.

$$Y_{bus} = [A] [Y_{prim}] [A]^T \quad (7)$$

이 과정을 통하여 구해진 고장후의 모션 어드미턴스는 아래식과 같다.

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} Y_{bus}^{(0)} + pd^{-1}p^T + p'd^{-1}p'^T, & p, & p' \\ p^T, & d, & 0 \\ p'^T, & 0, & d' \end{pmatrix} \quad (8)$$

여기서 고장에 따른 모션 어드미턴스 변화분은 쉽게 계산되며, 각 요소의 결과식은

$$p = Z_{\alpha\alpha}^{-1} K_3 \begin{pmatrix} -1/r \\ 1/(1-r) \end{pmatrix}$$

$$d = Z_{\alpha\alpha}^{-1}/r(1-r)$$

$$p' = Z_{\beta\beta}^{-1} K_4 \begin{pmatrix} -1/r' \\ 1/(1-r') \end{pmatrix}$$

$$d' = Z_{\beta\beta}^{-1}/r'(1-r')$$

$$Y_{bus}^{(0)} = A_R Y_o^R A_R^T \text{ 이다.}$$

c) 이와같이 구해진 고장후의 모션 어드미턴스 행렬 Y_{bus} 에서 단위 행렬의 관계를 이용하여 고장후의 등가 임피던스 행렬 Z_{bus} 를 계산한다. 즉 계산된 원래의 인수표로부터 직접 계산할 수 있으며 그 관계식은 아래와 같다.

$$Z_{bus} = \begin{pmatrix} Z_o & Z_{ik} & Z_{ik'} \\ Z_{ki} & Z_{kk} & Z_{kk'} \\ Z_{k'i} & Z_{k'k} & Z_{k'k'} \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서

$$Z_o = Z_{bus}^{(0)}$$

$$Z_{ik} = (1-r)Z_{bus}^{(0)}i + rZ_{bus}^{(0)}j$$

$$Z_{ik'} = (1-r')Z_{bus}^{(0)}p + r'Z_{bus}^{(0)}q$$

$$Z_{kk} = r(1-r)Z_{\alpha\alpha} + (1-r)^2Z_{bus}^{(0)}ij + r(1-r)Z_{bus}^{(0)}ji + r(1-r)Z_{bus}^{(0)}ij + r^2Z_{bus}^{(0)}jj$$

$$Z_{k'k'} = r'(1-r')Z_{\beta\beta} + (1-r')^2Z_{bus}^{(0)}pp + r'(1-r')$$

$$Z_{bus}^{(0)}qp + r'(1-r')Z_{bus}^{(0)}pq + r'^2Z_{bus}^{(0)}qq$$

이상과 같이 구한 결과식은, Han²⁾이 고장점 branch 임피던스 행렬을 사용하여 유도한 결과식과 동일 하였으며 이 방법은 특수한 고장에 대하여 필요한 요소만을 유도한 반면 본 연구에서 제시한 알고리즘은 모든 모션 등가 임피던스를 동시에 유도할 수 있으므로 제시한 알고리즘의 응용 범위가 넓고 훨씬 효과적인 방법임을 알 수 있다. 또한 이 방법은 선로단 사고에서도 효과적으로 접근한 바가 있다.⁸⁾

3.2. 단자쌍 파라미터 계산

이상에서 구한 고장점 등가 임피던스를 사용하여 다중고장을 해석하는 예로써 그림 1에서와 같이 k 점과 k' 점에서 1선지락 사고가 동시에 발생한 경우를 고려해 보고자 한다. 각 고장점을 단자쌍 이론으로 적용하면 2단자쌍으로 구성할 수 있고 단자쌍에 대한 파라미터를 구성하기 위해서는 중성선과 상사이에 불평형 사고의 예로써 고장점 D와 중성점 K는 단자쌍을 형성한다. 이와같은 방법으로 각 고장점을 2단자쌍으로 구성하면 그림 2와 같은 이중사고 회로로 생각할 수 있다.^{1) 2)}

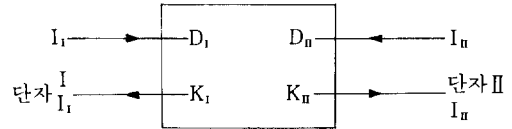


그림 2. 이중 사고 회로

Fig. 2. Double fault network

이들 두 단자 사이의 관계식은 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} V_I \\ V_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{II} & Z_{I II} \\ Z_{II} & Z_{II II} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_I \\ I_{II} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_I^{(0)} \\ V_{II}^{(0)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

단, V_I, V_{II} ; 단자 I II에서의 전압

I_I, I_{II} ; 단자 I II에서의 전류

$V_I^{(0)}, V_{II}^{(0)}$; 단자 I II에서의 개방회로 전압

$Z_{II}, Z_{II II}$; 단자의 구동점 임피던스

$Z_{II}, Z_{II II}$; 단자의 전달 임피던스

상기식에서 주어진 그림 1과 같은 1선 지락사고의 단자쌍 구동점 임피던스는 고장점의 구동 임피던스로서 $Z_{II}, Z_{II II}$ 는 식(11)의 형태로 주어지고 단자의 전달 임피던스 Z_{II} 와 $Z_{II II}$ 는 식(12)로 해석될 수 있다.²⁾

$$Z_{ii}(Z_{iii}) = Z_{DD} + Z_{KK} - 2Z_{DK} \quad (11)$$

단, Z_{DD} ; 노드 D에서 구동점 임피던스
 Z_{KK} ; 노드 K에서 구동점 임피던스
 Z_{DK} ; 노드 D와 K에서 노드 전달 임피던스

$$Z_{ii}(Z_{iii}) = Z_{D_{ii}} \quad (12)$$

즉, 노드 D_i 와 D_{ii} 사이의 노드 전달 임피던스이다.

그림 1의 1선지락 사고에서 D_i 을 고장점 k, D_{ii} 를 고장점 k'로 정의할 수 있다. 고로, 고장점 k에서 구동점 임피던스 Z_{ii} , 고장점 k'에서 구동점 임피던스 Z_{iii} 와 고장점 k와 k'간의 전달 임피던스 Z_{ii} 는 아래식과 같이 구할 수 있다.

$$Z_{ii} = Z_{kk} \quad (13)$$

$$\text{단, } Z_{kk} = r(1-r)Z_{\alpha\alpha} + (1-r)^2 Z_{bus}^{(0)} ii + r(1-r) Z_{bus}^{(0)} ji + r(1-r) Z_{bus}^{(0)} ij + r^2 Z_{bus}^{(0)} jj$$

$$Z_{ii} = Z_{kk} \quad (14)$$

$$\text{단, } Z_{kk} = r'(1-r')Z_{\beta\beta} + (1-r')^2 Z_{bus}^{(0)} pp + r'(1-r') Z_{bus}^{(0)} qp + r'(1-r') Z_{bus}^{(0)} pq + r'^2 Z_{bus}^{(0)} qq$$

$$Z_{ii} = Z_{kk} \quad (15)$$

$$\text{단, } Z_{kk} = (1-r)(1-r') Z_{bus}^{(0)} ip + (1-r)r' Z_{bus}^{(0)} iq + r(1-r') Z_{bus}^{(0)} jp + rr' Z_{bus}^{(0)} jq$$

고로 식(4)에 구한 등가 임피던스 값을 대입 하므로서 직렬형태 사고의 고장전류를 계산할 수 있고 식(2)에 대입함으로써 직렬형태의 고장 전압을 계산할 수 있다.

4. 계통 적용 사례

본 연구에서는 IEEE30 모선 모델 계통과 실제 계통과 유사한 84모선 모델계통을 1선지락 이중고장에 대하여 시뮬레이션 하였다.

30모선 모델 계통 적용에 있어서 선로 임피던스, 선로 Capacitance 및 부하 데이터, 변압기연결에 관한 데이터는 IEEE 데이터⁵⁾를 이용하였고 발전기 정상 역상 영상 임피던스는 모선 발전기 용량으로 선정하였으며, 계통도는 그림 3과 같다.

또한 다중사고의 전형적인 1선지락 다중사고의 고장전류는 표 1과 같다.

84모선 계통⁶⁾ 적용은 한전의 실제 계통과 유사한 84모선 계통 모델을 선정하였고 선로 임피던스 발전기 임피던스등의 계통자료는 가능한한 실제값에 근

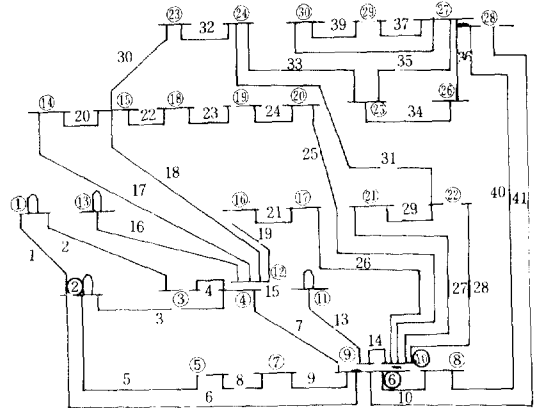


그림 3. IEEE-30 모선 계통

Fig. 3. IEEE-30 Bus system

표 1. 다중고장 전류(30모선) [단위 P. U]

Table.1. Simultaneous fault current (30BUS)

사고선로(고장상, 위치[%])	고장점의 상전류
41(A 상, 0.5)	-42.25163+j 42.87776
1(B 상, 0.5)	74.06317-j 13.0353
41(A 상, 0.5)	-29.70242+j 11.09334
17(B 상, 0.5)	29.57718-j 11.03676
41(A 상, 0.5)	-10.29493+j 4.3386
20(B 상, 0.5)	10.43881-j 4.24946
41(A 상, 0.5)	-29.37553+j 5.65429
30(B 상, 0.5)	29.22867-j 5.62092
41(A 상, 0.5)	-61.69368+j 12.5509
24(B 상, 0.5)	61.74623-j 12.55253
28(B 상, 0.4)	0.30186+j 0.0611
27(B 상, 0.3)	0.03009-j 0.1025
17(A 상, 0.5)	11.94339+j 22.81891
18(C 상, 0.3)	-11.96565-j 22.63228

사한 자료를 사용하였으며 선로의 영상 임피던스는 정상 임피던스의 3배로 가정하였고 그림 4와 같은 계통을 선정하였다.

다중사고로서 1선 지락사고에 대하여 고장상을 변화시키며 수행하였고 다중고장 전류의 계산값은 표 2와 같다.

각각의 고장 해석에 소요된 계산시간은 표 3에 주어진 바와 같다. 이것은 제한한 알고리즘의 실용성을 충분히 입증하며, 계통 규모등으로 보아 계산속도에 있어서 상당한 개선이 이루어진 것으로 생각

표 2. 다중고장 전류(84모선) [단위 P.U]
Table.2. Simultaneous fault current (84BUS)

사고선로(고장상, 위치(%))	고장점의 상전류
162(A 상, 0.4)	-3.56187-j1.36123
98(A 상, 0.4)	-3.121637-j2.00114
162(C 상, 0.4)	-5.13843+j0.70837
166(C 상, 0.4)	-9.73120+j1.45461
162(C 상, 0.4)	-4.52776+j1.09736
139(C 상, 0.4)	-6.37665+j0.56345
162(C 상, 0.4)	2.95978-j2.40406
98(C 상, 0.4)	3.29384-j1.70284
162(A 상, 0.4)	-467.4104+j477.60718
24(B 상, 0.4)	-474.60278-j482.24268
162(A 상, 0.4)	-292.53687+j251.01988
139(B 상, 0.4)	298.44189-j253.22653
162(A 상, 0.4)	-61.60272+j38.71312
98(B 상, 0.4)	57.87241+j36.38081

된다.

본 연구의 전산처리는 IBM3083 Computer System에 의하여 행해졌다.

표 3. 다중고장전류 계산시간(단위 초)
Table.3. Calculation time for simultaneous fault current

System Size	30모선 41선로	78모선 145선로	80모선 151선로	81모선 154선로	84모선 167선로
계산시간	0.23	1.65	2.11	2.27	3.71

5. 결론

본 연구에서는 다중 고장전류를 계산하기 위해 ΔY_{bus} 분해법을 도입하여 등가 임피던스를 구하는 알고리즘을 제시하였으며, 해석이 어려운 다중사고의 고장전류를 단자쌍 이론을 적용하여 해석 하였다. 제시한 알고리즘을 실제 적용을 통하여 실용성이 입증되었으며 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) 다중사고 고장전류 계산에 필요한 등가 임피던스 계산 방법에 있어 모선 어드미턴스 변화분 (ΔY_{bus})을 분해하여 계산하는 방법으로서 새로운 알고리즘을 개발하여 계산속도를 개선하였다.

2) 개발한 알고리즘은 송전선의 상호결합을 효율적으로 처리하였다.

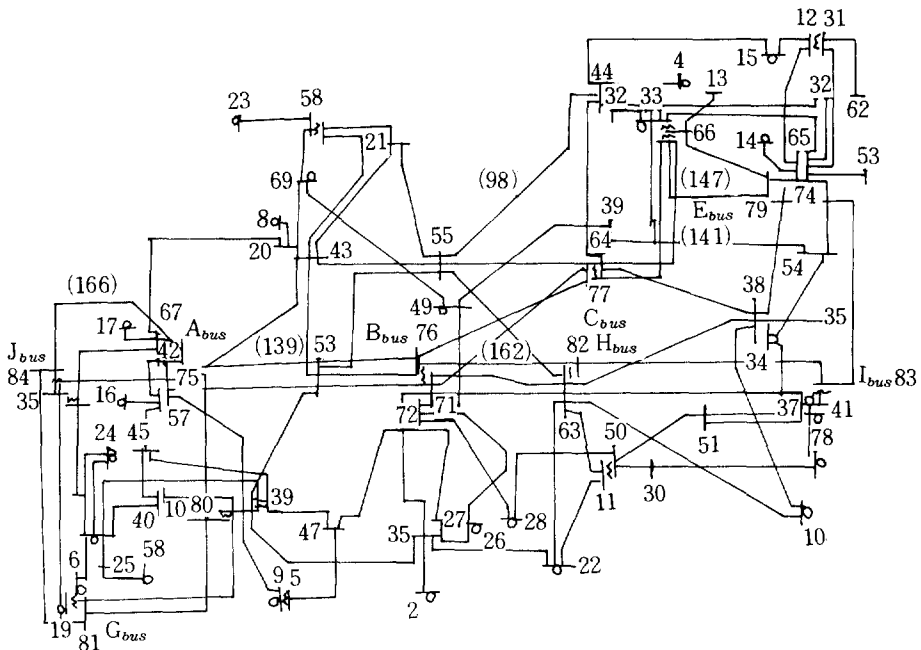


그림 4. 84모선 실제통 모델
Fig. 4. 84Bus system model

3) 다중사고의 전형적인 1 선지락 사고에 대하여 다중 단자쌍 파라미터를 계산하였고 실제통의 적용을 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

- 1) P.M Anderson : Analysis of faulted power system, The Iowa state University Press / Ames, 1973
- 2) Z.X.Han : "Generalized Method of Analysis of Simultaneous faults in Electric power Systems", IEEE Trans on PAS, Vol. PAS-101 No. 10, pp. 3933-3942 October 1982
- 3) L.Roy and N.D Rao : "Exact Calculation of Simultaneous faults involving Open Conductors and Line-to-Ground short Circuits on Inherently Unbalanced power Systems", *ibid*, Vol. PAS-101. No. 8 pp. 2738-2746, August 1982
- 4) T.E.Dyriacco and K.A.Ramarao : "Short-Circuit Calculations for Multi-line Switching and End faults", *ibid*, Vol. PAS-89, No. 6 pp. 1226-1237. July / August 1970
- 5) M.A Pai : Computer Techniques in power System Analysis, Tata, Mc Graw-Hill publishing Company LTD. 1979
- 6) Stagg and EL-Abiad, Computer Method in power system Analysis, McGraw-Hill Series in Electrical Systems, 1968
- 7) 문영현, 김요희 : "△Ybus-decomposition 법에 의한 고장전류 계산" 전기학회 논문지 제33권 제11호 pp. 447-455, 1984. 11
- 8) 박재용, 오용택, 문영현 : "행렬 성질을 이용한 고장 해석 알고리즘 개발" 전기학회 춘계 학술 발표회, 1987, 4.