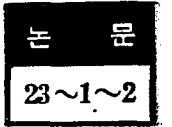


小形 Digital Computer를 이용한 大電力系統의 解析



Analysis of Large Power System by Small Digital Computer

박 영 문* · 정 재 길**
(Young Moon Park, Jai Kil Chung)

Abstract

This paper attempts to develop the algorithms and computer program for load flow solution and faults analysis of large power system by small digital computer.

The Conventional methods for load flow solution and fault analysis of large power system require too much amount of computer memory space and computing time.

Therefore, this paper describes the method for reducing the computer memory space and computing time as follows.

- 1) Load Flow Solution: This method is to store each primitive impedance of lines along with a list of bus numbers corresponding to the both terminals of lines, and to store only nonzero element of bus admittance matrix.
- 2) Faults Analysis: This method is to partition a large power system into several groups of subsystems, form individual bus impedance matrix, store them in the storage, and assemble the only required portion of them to original total system by algorithm.

1. 서 론

전력계통의 조류계산이나 고장해석은 전력설비를 안전하고 합리적으로 운용하는데 매우 중요한 자료가 된다.

특히 최근 전력계통의 규모가 확대됨과 동시에 계통 전압이 높아지게 됨에 따라 조류계산이나 고장해석의 필요성은 더욱 중요한 위치를 차지하게 되었으며 또한 최근 이들의 해석은 전자계산기에의 의존이 불가피하게 되었다.

본 연구에서는 대전력계통의 조류계산, 고장해석에 관해 종래의 방식과는 달리 계산기의 기억용량을 대폭 감소시켜 소형 전자계산기를 이용하여 이들의 해석을 행하는 기법을 개발하였으며 사례연구로서 한전계통에 적용하여 본 결과 만족스러운 결과를 얻었다.

1.1 조류계산

전자계산기에 의한 조류계산 방법에는 여러 가지 방식이 있으나^{1,2,3,4)} 본 연구에서는 전자계산기의 기억용량 및 계산시간의 관점에서 가장 경제적인 모선 애드미턴

스 행렬(이하 Y_{bus} 행렬이라 함)을 이용한 Newton-Raphson법의 간이법인 Ward-Hale 방식^{5,6)}의 이론을 응용하였다. 종래에 주로 사용하여 온 Ward-Hale 방식은 모선 애드미턴스 기억시 Y_{bus} 행렬을 사용한 2차원 행렬로 표시한 관계상 상당히 많은 기억용량을 필요로 하였으며 또 모선과 선로간의 접속 상태를 접속 행렬(incidence matrix)을 사용함으로써 기억용량을 더욱 증대시키고 불필요한 계산을 되풀이 하게 되어 계산시간이 길어졌다.

따라서 본 방식에서는 모선과 선로간의 접속 행렬은 사용하지 않고 선로의 원시 임피던스(primitive impedance) 기억시 이선로 양단의 모선번호를 함께 기억시키고 모선 애드미턴스는 Y_{bus} 행렬중 비영(non zero) 요소판 기억시킴으로써 기억용량을 대폭 경감시키고 계산시간을 단축시켰다.

1.2 고장 해석

전자계산기에 의한 고장해석은 Thevinin의 정리를 용이하게 적용할 수 있는 모선 임피던스행렬(이하 Z_{bus} 행렬이라 함)을 사용하고 있다⁷⁾. 종래에 Z_{bus} 를 구하는 방법은¹⁾ Y_{bus} 행렬을 형성한 후 이의 역행렬을

* 정희원 : 서울대 工大 副教授(工學博士)

** 정희원 : 한전 기획관리부 기술조사과 계장

취하는 방법과 ㉔ 특수한 Algorithm을 사용하여 점차적으로 Z_{BUS} 행렬을 형성하여 가는 방법으로 대별할 수 있다.

전자의 방법은 대전력계통의 경우 Y_{BUS} 행렬의 역행렬을 구하는데 상당히 많은 기억 용량을 필요로 하며 계산시간이 길어질뿐 아니라 Round-off error에 의한 누적 오차가 크게될 우려가 있다. 후자의 경우도 역시 많은 기억용량을 필요로 할뿐 아니고 Z_{BUS} 형성 방법이 매우 복잡하다. 따라서 본 방식에서는 대전력 계통을 수개군(群)의 부분 계통으로 분할하고 각각의 부분 계통의 Z_{BUS} 를 구하여 기억시킨 후 계산상 필요로 하는 모선만을 발취하여 이들 부분 계통을 원계통으로 통합하는 방식을 사용하였다. 이와 같이 함으로써 계산기의 기억용량을 대폭 경감시키고 계산시간의 단축을 도모하였다.

또한 고장전류 및 고장전압은 고장모선의 인접구간에 영향을 가장 크므로 고장모선에 연결된 선로전류와 고장 및 인접모선의 전압만을 구하도록 함으로써 더욱 능률적인 고장해석을 행할 수 있도록 하였다.

2. 조류 계산

전력계통의 조류계산은 각 모선의 기지의 지정치(발전기 모선: 유효출력과 모선 전압의 크기, 부하모선: 유효전력과 무효전력, Slack 모선: 모선전압의 크기와 위상각)와 각 모선의 전압을 가정하고 계산한 계산치와의 편차가 허용오차 범위내에 들어올 때까지 각 모선의 전압을 반복 수정하여 잡으므로 얻을 수 있다^{1),2)}.

이 계산을 행하는데 있어서는 모선 애드미턴스의 형성방법이 계산기의 기억 용량을 크게 좌우하며 계산시간도 좌우된다.

따라서 우선 모선 애드미턴스(Y_{BUS})를 형성하는 방법에 관하여 종래의 방법과 본 연구에서 개발한 새로운 방식을 비교하고 다음 이 새로운 방법에 의한 Y_{BUS} 형성 방법 및 조류 계산방법을 설명하기로 한다.

2-1 Y_{BUS} 형성 방법의 비교

1) 모선과 선로간의 접속상태를 표시하는 데에 종래에는 접속행렬³⁾을 사용한 관계상 모선수×선로수 만큼의 기억용량을 필요로 하고 零項을 포함한 불필요한 계산을 되풀이 한데 반해 본 2.2항의 방식에서는 선로수×2의 기억용량 으로 충분하며 불필요한 계산은 하지 않는다.

2) 모선 애드미턴스를 기억시키는데 종래에는 이를 2차원 행렬로 표시한 관계상 4×모선수×모선수의 기억용량을 필요로 하는데 반해 본 2.2항의 방식에서는 4×모선수÷4×선로수의 기억용량으로 충분하다.

2-2 본 방식의 Y_{BUS} 형성 및 조류계산 방법

1) Y_{BUS} 형성 방법

일반적으로 Y_{BUS} 행렬은 대칭성이 있고 모선의 전달 애드미턴스는 零要素가 대부분이므로 다음과 같이 Y_{BUS} 행렬중 비영요소만 기억시킨다.

(1) 우선 최초 선로의 원시임피던스 입력서 i 선로가 모선 K, M 간에 연결되어 있다면 $NF(i), NT(i), Z(i)$ 라 놓고 선로의 순번대로 $NF(i)$ 에 K 모선 번호, $NT(i)$ 에 M 모선 번호, $Z(i)$ 에 i 선로의 원시 임피던스를 기억시킨다.

(2) Y_{KK} 계산시는 1번 선로로부터 순번에 따라 K 와 $NF(i)$ 와 비교하여 같지 않으면 다음 순번 선로로 넘어가며 같을 때에만 Y_{ij} 를 계산하여 계속 보태어 나간다. 다음 K 와 $NT(i)$ 와 비교하여 전과 동일한 방법으로 같을 때에만 상기 Y_{KK} 값에 계속 보태어 나가고 다시 매지 애드미턴스를 Y_{K0} 합 하면 된다.

그리고 Y_{KK} 는 Y_{BUS} 행렬의 대각선 요소이므로 $Y(K)$ 로 기억시킨다.

(3) 모선 K, M 간의 전달 애드미턴스 Y_{KM} 는 $Y_{KM} = -y_i$ 로 계산하며 K, M 간의 선로의 순번대로 $Y(i)$ 로 기억시킨다.

2) 조류 계산 방법

상기와 같은 Y_{BUS} 형성 방법을 사용하였을 경우 모선전류 및 전력조류는 다음과 같이 계산한다.

(1) 우선 초기치로서 각 모선의 전압(E_K)을 가정한다.

$$(2) \text{모선전류 } I(K) \text{는 } I(K) = \sum_{M=1}^N Y(K, M) \cdot E(M)$$

로 표시되므로 우선 1번 선로로부터 순번에 따라 K 와 $NF(i)$ 를 비교하여 같지 않을 때에는 계산을 하지 않고 다음 순번으로 넘어가며 같을 때에만 $NA=NT(i)$ 라 놓고 $Y(i) \times E(NA)$ 값을 계산하여 $Y(K) \times E(K)$ 값에 계속 보태어 나가고 다시 K 와 $NT(i)$ 를 비교하여 같을 때에만 $NA=NF(i)$ 라 놓고 $Y(i) \times E(NA)$ 의 값을 계산하여 상기 값에 계속 보태어 나가면 된다.

(3) 각 모선의 유효, 무효 전력 및 전압의 절대치를 구한후 이 계산치와 전 모선(발전기 및 부하모선별)의 지정치와의 편차가 허용오차 범위내에 들어올 때까지 Gauss-scidel 반복법을 사용하여 모선전압을 반복 수정하여 각 모선의 전압 및 전력을 산출한다^{1),2)}.

$$W_K = P_K - Q_K = E_K \cdot I_K^* \dots\dots\dots(1)$$

$$V_K^2 = |E_K|^2 \dots\dots\dots(2)$$

(4) 각 모선의 전압을 구한후 모선 K, M 간의 전력 조류(W_{KM})는

$$W_{KM} = E_K (E_K - E_M)^* \cdot (-Y_{KM})^*$$

로 표시되므로 우선 1번 선로로부터 출발하여

$$NA=NF(i), NB=NT(i)$$

라 놓고

$$W_{KM}=E(NA) \cdot \{E(NA) - E(NB)\} \cdot \{-Y(i)\} \quad (3)$$

을 계산하면 된다.

2-4 한전 전력계통에 대한 적용

한전전력계통(1971년말 현재, 드선수: 22, 선로수: 26)에 대하여 동일한 Data를 사용하여 조류계산을 행하고 종래의 방법에 의한 계산치와 비교하여 본 결과 동일한 결과를 얻었으며 계산시간은 종래 방식에 비하여 2/3 정도 단축되었다.

3. 고장 해석

전자계산기에 의한 고장 해석은 일반적으로 Z_{BUS} 행렬을 이용하고 있으며 계통 규모가 크게 되면 Z_{BUS} 를 형성하는데 다대한 계산기의 기억 용량을 필요로 하므로 기억용량이 적은 전자계산기로서는 고장 해석이 불가능하게 된다.

따라서 본 연구에서는 상기 기억용량을 더욱 경감시킬 수 있는 계통 분할법에 의한 고장해석 기법을 개발하고 이에 필요한 Algorithm의 일부를 유도한다.

3-1 계통의 분할 및 통합방법

1) 우선 2개의 모선을 연결하는 Link가 되는 선로를 임의로 양측 모선에서 분리하여 차후 계통분할시 수직 상으로 분할할 수 있도록 한다.

2) 다음 이 계통을 모선을 분리하여 수직단의 부분 계통으로 분할한다.

3) 부분 계통을 원계통으로 통합할 때에는 계산상 필요로 하는 모선만을 발췌하여 우선 분리된 Link로 되는 선로를 제외한 부분 계통에 대하여 미리 정해 놓은 순서에 따라 (3.1)식 또는 (3.2)식을 이용하여 통합한다.

4) 다음 Link로 되는 선로들은 (3.3)식을 이용하여 상기에 통합된 계통에 계속 결합하여 가더 모선 임피던스를 수정한다.

5) 본 방법에 의해 原系統을 n 개의 부분 계통으로 분할하였을 경우 Z_{BUS} 행렬의 소요 기억 용량은 대략 $1/n$ 로 경감시킬 수 있다.

3-2 부분 계통의 통합시 모선 임피던스

Algorithms

1) 2개군의 부분 계통의 통합시³⁾

A 및 B의 2개 부분 계통의 통합 모선(원계통에서는 실제 동일 모선임)을 P, 문턱 대상의 모선을 각각 P', M, 통합전후의 모선 임피던스를 각각 Z, Z'라고 하면

(1) K, M가 동일 A 부분 계통에 속해 있을 경우

$$Z'_{KM} = Z_{AKM} - \frac{Z_{AKP} \cdot Z_{APM}}{Z_{APP} + Z_{BPP}} \quad (3.1)$$

(2) K, M가 다른 부분 계통에 속해 있을 경우

모선 K는 A계통, 모선 M는 B계통에 속해 있을 경우에는

$$Z'_{KM} = \frac{Z_{AKP} \cdot Z_{BPM}}{Z_{APP} + Z_{BPP}} \quad (3.2)$$

(3) K, M가 두 부분 계통에 모두 속해 있지 않을 경우

$$Z'_{KM} = Z_{KM}$$

(4) K가 A부분 계통에 속해 있을 경우

$$Z'_{KP} = \frac{Z_{AKP} \cdot Z_{BPP}}{Z_{APP} + Z_{BPP}} = Z_{AKP} - \frac{Z_{AKP} \cdot Z_{APP}}{Z_{APP} + Z_{BPP}}$$

2) Link로 되는 선로를 결합할 경우

어떤 계통에 Link로 되는 선로를 모선 q, r간에 부가할 경우에 각 모선의 수정 임피던스는 그림 1과 같이 전압원을 연결하고 다음 식에 의해 가상의 l모선을 포함한 전계통의 모선 임피던스를 구한후 모선 l를 제거하여 구한다.

$$Z_{li} = Z_{ii} = Z_{qi} - Z_{ri} \quad (1)$$

$$Z_{li} = Z_{qi} - Z_{ri} + Z_{lr} \quad (2)$$

$$Z'_{li}(\text{수정후}) = Z_{li}(\text{수정전}) - \frac{Z_{li} \cdot Z_{li}}{Z_{li}} \quad (3)$$

(1), (2)식에 의하여

$$Z_{qi} = Z_{qq} - Z_{rq} \quad (4)$$

$$Z_{ri} = Z_{rq} - Z_{rr} \quad (5)$$

$$Z_{li} = Z_{qq} + Z_{rr} - 2 \cdot Z_{rq} + Z_{qr,qr} \quad (6)$$

(1), (6)식을 (3)식에 대입하면

$$Z'_{li} = Z_{li} - \frac{(Z_{qi} - Z_{ri}) \cdot (Z_{qi} - Z_{ri})}{Z_{qq} + Z_{rr} - 2Z_{rq} + Z_{qr,qr}} \dots (3.3)$$

단 $Z_{qr,qr}$ 는 모선 q, r간의 원시 임피던스

3) 병행 2회선 선로도중 고장시

그림 2와 같이 병행 2회선 선로의 도중 t점에서 고

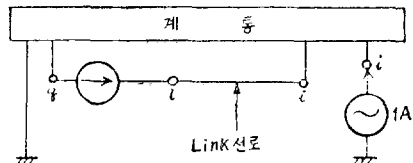


그림 1

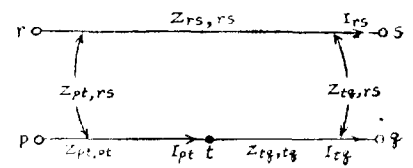


그림 2

장이 발생하였을 경우 모선 임피던스 Z_{ii} 및 Z_{it} 는 각각 (3.4)식 및 (3.5)식으로 표시된다.

그 유도식은

$$\begin{aligned} v_{pi} &= Z_{pi,pi} I_i + Z_{pi,rs} I_{rs} \\ v_{iq} &= Z_{iq,iq} I_q + Z_{iq,rs} I_{rs} \\ I_{pi} &= (v_{pi} - Z_{pi,rs} I_{rs}) / Z_{pi,pi} \quad (1)' \\ I_{iq} &= (v_{iq} - Z_{iq,rs} I_{rs}) / Z_{iq,iq} \quad (2)' \end{aligned}$$

(1) $t=i$ 이고 대지와 모선 i 간만에 단위 전류를 흘릴 경우

$$\begin{aligned} i_{pi} &= i_{iq} \quad (3)' \\ V_p &= Z_{pi}, V_q = Z_{qi}, V_t = Z_{ii} \quad (4)' \end{aligned}$$

(1)', (2)', (3)'식에서

$$\begin{aligned} Z_{iq,iq} (v_{pi} - Z_{pi,rs} I_{rs}) &= Z_{pi,pi} (v_{iq} - Z_{iq,rs} I_{rs}) \\ I_{rs} (Z_{pi,pi} Z_{iq,rs} - Z_{iq,iq} Z_{pi,rs}) &= Z_{pi,pi} v_{iq} - Z_{iq,iq} v_{pi} \quad (5)' \end{aligned}$$

병행 2회선의 상호 임피던스는 거리에 비례하므로

$$Z_{pi,pi} Z_{iq,rs} - Z_{iq,iq} Z_{pi,rs} = 0 \quad (6)'$$

(4)', (5)', (6)'식에서

$$\begin{aligned} (Z_{pi,pi} + Z_{qi,qi}) \cdot V_t &= Z_{pi,pi} V_q + Z_{qi,qi} V_p \\ \therefore Z_{ii} &= \frac{Z_{pi,pi} Z_{qi,qi} + Z_{qi,qi} Z_{pi,pi}}{Z_{pi,pi} + Z_{qi,qi}} \quad (3.4) \end{aligned}$$

(2) 대지와 모선 t 간에만 단위 전류를 흘릴 경우

$$\begin{aligned} 1 + I_{pi} &= I_{iq} \quad (7)' \\ V_p &= Z_{pi}, V_q = Z_{qi}, V_t = Z_{ii} \quad (8)' \end{aligned}$$

(1)', (2)', (7)'식에서

$$\begin{aligned} Z_{pi,pi} Z_{qi,qi} + Z_{qi,qi} (v_{pi} - Z_{pi,rs} I_{rs}) &= Z_{pi,pi} (v_{iq} - Z_{iq,rs} I_{rs}) \\ &= Z_{pi,pi} (v_{iq} - Z_{iq,rs} I_{rs}) \end{aligned}$$

전과 동일한 방법으로

$$\begin{aligned} Z_{pi,pi} + Z_{qi,qi} &= Z_{pi,pi} v_{iq} - Z_{qi,qi} v_{pi} \\ (Z_{pi,pi} + Z_{iq,iq}) V_t &= Z_{pi,pi} V_q + Z_{qi,qi} V_p + Z_{pi,pi} Z_{iq,iq} \quad (9)' \end{aligned}$$

(9)'식을 (8)'식에 대입하면

$$Z_{ii} = \frac{Z_{pi,pi} Z_{qi,qi} + Z_{iq,iq} Z_{pi,pi} + Z_{pi,pi} Z_{qi,qi}}{Z_{pi,pi} + Z_{qi,qi}} \quad (3.5)$$

3-3 고장해석에 관한 프로그램

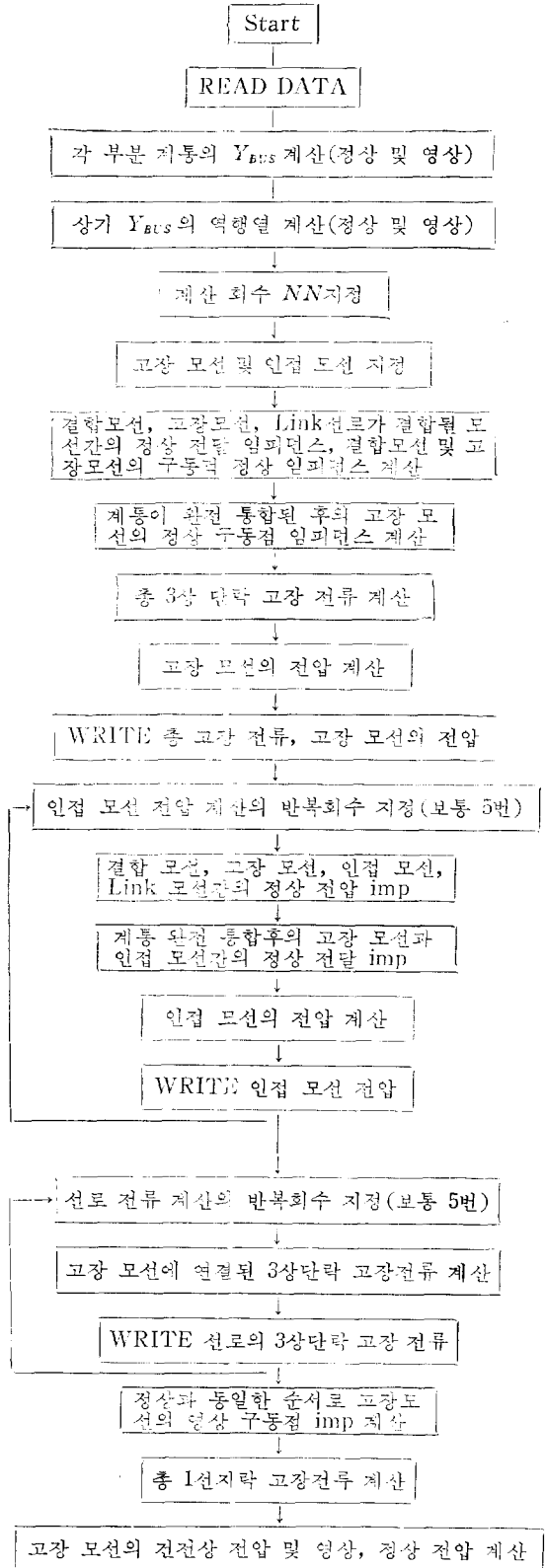
1) 모선 및 선로 번호 부여 방식

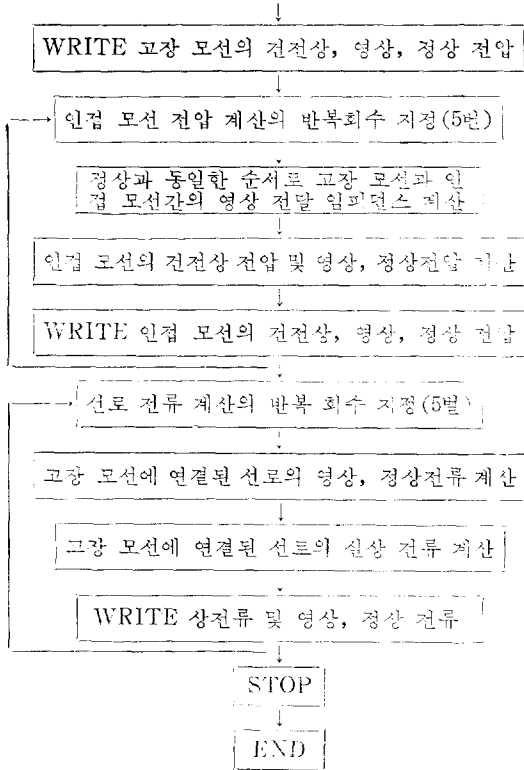
부분 계통의 통합될 두 결합모선은 각각 1번 및 최종 번호로 부여하고(Link선로 결합점은 임의로 부여함) 최종 번호는 N1, N2, N3, N4 등의 번호로서 부여한다. 또 통합계통(즉 원계통)의 모선 및 선로 번호는 부분 계통의 번호 순위 및 통합 순위에 따라 일련 번호를 부여한다.

2) Main Program

3상단락 및 1선지락 고장에 필요한 식은 각각 문헌 [1] p.181 및 p.184에 의한다.

Flow Diagram

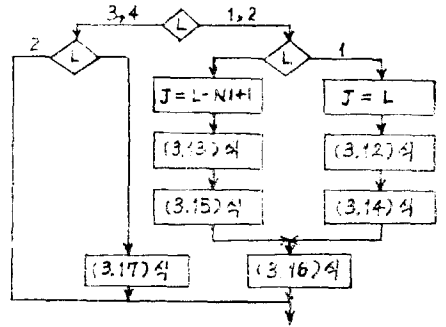




3) 부분 계통의 통합에 관한 프로그램

고장 계산을 행할 때에 부분 계통의 통합에 필요한 모선 임피던스의 기억 용량은 ① 결합 모선의 Z_{kk} , ② 결합 모선간의 Z_{km} , ③ 결합 모선과 계산상 필요한 모선간의 Z_{km} , ④ 결합 모선과 고장 모선간의 Z_{km} , ⑥ 고장 모선과 계산상 필요한 Z_{km} 의 변수단이 추가로 소

Flow Diagram



요된다(여기서 Z_{kk} : 구동점 임피던스, Z_{km} : 전달 임피던스). 본 방식에서는 원계통을 4개군의 부분 계통으로 분할하여 고장 해석을 행하였다

(1) 결합 모선의 구동점 임피던스 및 결합 모선간의 전달 임피던스 계산
편 이상

$$R = ZP1(NA, N3) + ZP2(1, 1)$$

$$Z1BB = ZP1(N1, N1) - ZP1(NA, N1) \cdot R \quad (3.7)$$

$$Z1EC = ZP1(NA, N1) \cdot ZP2(1, N2) / R \quad (3.8)$$

$$Z1CC = ZP2(N2, N2) - ZP2(1, N2)^2 / R \quad (3.9)$$

$$S = Z1EB + ZP3(1, 1)$$

$$Z2CC = Z1CC - Z1EC^2 / S \quad (3.10)$$

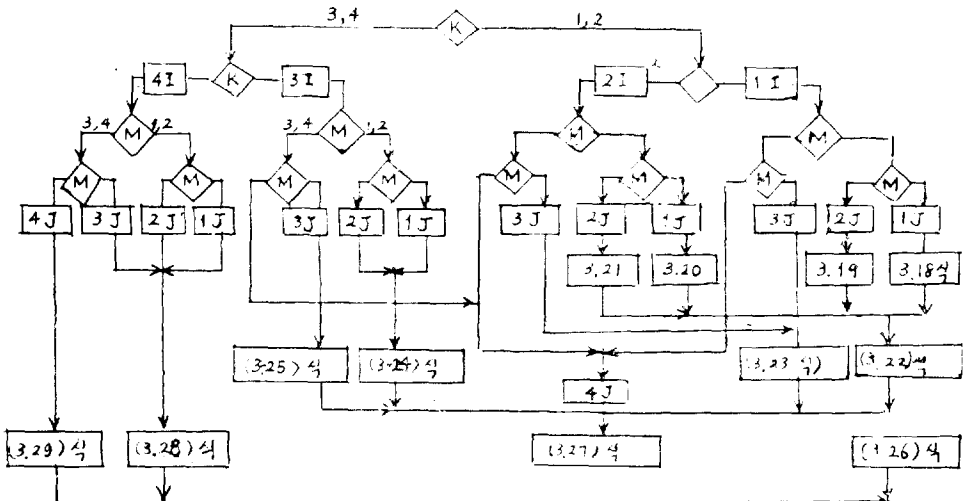
$$Z2EC = Z1EC - Z1BB \cdot Z1EC / S \quad (3.11)$$

$$T = Z2CC + ZP4(1, 1)$$

(3) 결합 모선과 계산상 필요로 하는 모선간의 전달 임피던스 계산

$$Z1BL = ZP1(N1, J) - ZP1(NA, J)^2 / R \quad (3.12)$$

Flow Diagram



① 1I: i=K, 2I: i=K-N1+1, 3I: i=K-(N1+N2-2)

② 4I: i=K-(N1+N2+N3-3), 1J: J=M, 2I: J=M-N1+1

③ 3J: J=M-(N1+N2-2), 4J: J=M-(N1+N2+N3-3)

$$Z1CL = ZP1(NA, J) \cdot ZP2(1, N2) / R \quad (3.13)$$

$$Z1BL = ZP1(NA, N1) \cdot ZP2(1, J) / R \quad (3.14)$$

$$Z1CL = ZP2(N2, J) - ZP2(1, N2) \cdot ZP2(1, J) / R \quad (3.15)$$

$$Z2CL = Z1CL - Z1BB \cdot Z1BL / S \quad (3.16)$$

$$Z2CL = Z1BC \cdot ZP3(1, J) / S \quad (3.17)$$

(3) 고장 모선의 구동점 임피던스 및 고장 전선과 그 인접 모선간의 전압 임피던스 계산

$$Z1KM = ZP1(i, J) - ZP1(NA, i) \cdot ZP1(NA, J) / R \quad (3.18)$$

$$Z1KM = ZP1(NA, i) \cdot ZP1(1, J) / R \quad (3.19)$$

$$Z1KM = ZP1(NA, J) \cdot ZP1(1, i) / R \quad (3.20)$$

$$Z1KM = ZP2(i, J) - ZP2(1, i) \cdot ZP2(1, J) / R \quad (3.21)$$

$$Z2KM = Z1KM - Z1BK \cdot Z1BM / S \quad (3.22)$$

$$Z2KM = Z1BK \cdot ZP3(1, J) / S \quad (3.23)$$

$$Z2KM = Z1BM \cdot ZP3(1, i) / S \quad (3.24)$$

$$Z2KM = ZP3(i, J) - ZP3(1, i) \cdot ZP3(1, J) / S \quad (3.25)$$

$$Z3KM = Z2KM - Z2CK \cdot Z2CM / T \quad (3.26)$$

$$Z3KM = Z2CK \cdot ZP4(1, J) / T \quad (3.27)$$

$$Z3KM = Z2CM \cdot ZP4(1, i) / T \quad (3.28)$$

$$Z3KM = Z2P4(i, J) - ZP4(1, i) \cdot ZP4(1, J) / T \quad (3.29)$$

4) 고장 전압 및 고장 전류 계산에 관한 프로그램

고장 전압 및 고장 전류는 고장 모선의 인접 구간에 영향이 가장 크므로 고장 전압은 고장 모선 및 그 인접 모선의 전압만을 고장 전류는 고장 모선에 연결된 선로의 전류만을 다음과 같이 구한다.

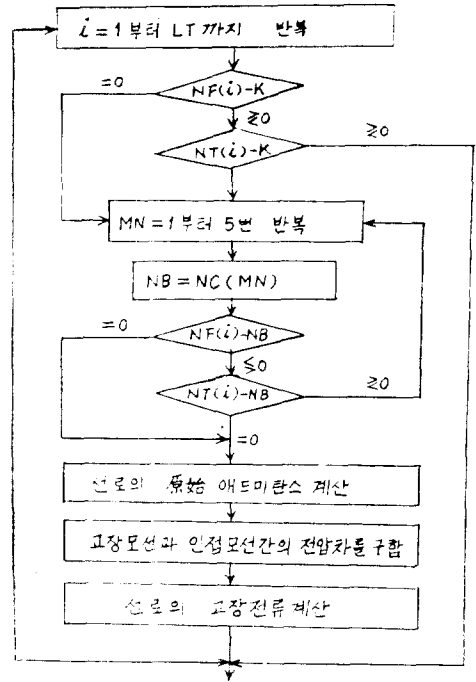
(1) 우선 DATA 입력시 고장 모선 K의 번호와 함께 인접 모선 M의 번호를 NC(1), ..., NC(5)의 방법으로 지정한다.

(2) 다음 M=NC(MN)라 놓고 필요한 도선 임피던스 및 모선 전압을 구하고 M=0인 경우에는 계산을 하지 않도록 한다. (단, MN는 반복 회수로서 1~5)

3) 고장 모선에 연결된 선로의 고장 전류는 다음 방

(1) 3상 단락 고장 계산 결과

고장모선	고장 모선의 인접 모선의 전압				고장 모선에 연결된 선로의 전류			
	총고장전류	고장 모선의 인접 모선의 전압			고장 모선에 연결된 선로의 전류			
대구 S/S	대구 S/S 상주 S/S 명장 S/S 대전 S/S	—	상주 S/S간	명장 S/S간	대전 S/S간	—	—	—
	19.672	0.465	0.749	0.419	—	5.772	8.042	5.801
상주 S/S	상주 S/S 영월 T/P 대전 S/S 대구 S/S	—	영월 T/P간	대전 S/S간	대구 S/S간	—	—	—
	17.238	0.554	0.321	0.531	—	5.911	4.778	6.598
대전 S/S	대전 S/S 부평 S/S 상주 S/S 이리 S/S	—	부평 S/S간	상주 S/S간	이리 S/S간	—	—	—
	13.979	0.811	0.449	0.171	—	4.733	6.681	2.580



단, K: 고장 모선 번호
NB: 인접 모선 번호
LT: 총 선로수

법으로 구한다.

3-4 한전 전력 계통에 대한 적용예

1) 계통도, 선로 정수 및 기기정수

본 고장 해석에 사용된 한전 전력 계통(모선수: 22, 선로수: 26)의 계통도, 선로정수 및 기기정수는 1971년 말 현재의 것을 사용하였다.

2) 계산 결과

100MVA Base, P.U.법으로 계산한 3상단락 고장 및 1선지락 고장의 계산 결과를 요약하면 다음과 같다 (단, 발전기 % 임피던스로 차라도 리액턴스 Xa'를 사용하였음).

부평 S/S	부평 S/S	수색 S/S	서울 T/P	인천 T/P	양지 S/S	수색 S/S간	서울 T/P간	인천 T/P간	양지 S/S간	대전 S/S간
	32.966	0.152	0.180	0.156	0.123	7.808	8.455	8.527	4.990	3.212
덕소 S/S	덕소 S/S	청평 H/P	영월 T/P	도봉 S/S	양지 S/S	청평 H/R간	영월 T/P간	도봉 S/S간	양지 S/S간	--
	26.879	0.103	0.644	0.182	0.203	6.082	4.242	8.860	7.720	--

(2) 1선지락 고장 계산 결과

고 장 모 선	총고장전류	고장 모선에 연결된 선로의 전류				
대 구 S/S	대 구 S/S	상 주 S/S간	명 장 S/S간	진 영 S/S간	--	--
	14.366	3.615	4.723	3.694	--	--
상 주 S/S	상 주 S/S	영 월 T/P간	대 구 S/S간	대 전 S/S간	--	--
	11.194	3.783	3.856	3.055	--	--
대 전 S/S	대 전 S/S	부 평 S/S간	이 리 S/S간	상 주 S/S간	--	--
	11.186	3.026	2.061	4.426	--	--
부 평 S/S	부 평 S/S	수 색 S/S간	서 울 T/P간	인 천 T/P간	양 지 S/S간	대 전 S/S간
	30.902	6.465	7.744	8.347	3.928	2.475
덕 소 S/S	덕 소 S/S	청 평 H/P간	영 월 T/P간	도 봉 S/S간	양 지 S/S간	--
	19.361	4.764	2.695	5.785	5.095	--

3) 계산결과 검토

(1) 3상단락 고장 계산 결과에서 총고장 전류와 고장 모선에 연결된 선로 전류의 합이 약간 차이가 있는 것은 이 값을 절대치로 표시하였기 때문이다.

(2) 1선지락 고장 계산 결과에서 총모선 고장 전류와 고장 모선에 연결된 선로 전류의 합의 차이는 고장 모선에 연결된 주변압기의 흐르는 전류이다.

이 전류는

고장 모선의 전압/

$$\text{고장 모선의 구동점 임피던스} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

에 의해 계산된다.

(3) 3상 단락 고장의 경우 154KV 계통 각 모선의 전원등가 임피던스의 값을 A.C. Board에 의해 한전에서 구한 값과 비교하면 다음과 같다.

비교종류	등가지점	대 구	상 주	대 전	부 평	덕 소
A.C. Board에 의한 결과		5.38	5.40	6.85	2.77	3.42
본 방식에 의한 계산 결과		5.08	5.74	7.14	3.03	3.72

4. 결 론

4-1 조류 계산

1) 본 방식의 전압의 수정 범위는 $10^{-4}P.U.$ 로 하였으며 한전 전력 계통(모선수: 22, 선로수: 25)에 적용하여 본 결과 매우 만족스러운 결과를 얻었다.

2) 본 방식의 특징은 종래 방식에 비해 기억 용량을 대폭 경감시킬 수 있으며 계산 시간도 2/3정도로 단축시킬 수 있다.

3) 모선수: 100, 선로수: 100의 계통의 경우 Y_{bus} 를 계산하는데 종래의 방식으로는

$$4 \times 100 < 100 + 100 < 100 + 2 \times 100 = 50,200$$

즉 50.2K의 기억 용량을 필요로 하는데 반해 본 방식에서는

$$(4 \times 100) \times 2 + 2 \times 100 + 2 \times 100 = 1,200$$

즉 1.2K의 기억 용량으로도 충분하다.

4) 이 방식은 전력 계통에 과도 안정도 해석시 과도 시 조류 계산에도 적용할 수 있으며 대기 계통의 과도 안정도 해석의 경우 대폭적으로 계산기의 기억 용량을 경감시킬 수 있으므로 특히 유리하다.

4-2 고장 해석

1) 계산기 기억 용량을 대폭적으로 경감시킬 수 있으므로 소형 전자 계산기로서도 대전력 계통의 고장해

석이 가능하며 고장 시간도 상당히 단축시킬 수 있다.

2) 병행 2회선 선로 도중의 고장 계산도 간단히 행할 수 있다.

3) 고장의 영향을 가장 크게 받는 고장 모선에 연결된 선로 선류와 고장 모선 및 이의 인접 모선의 전압만을 구할 수 있게 되었으므로 고장 해석상 매우 능률적이다.

4) 한전 계통(모선수: 22, 선로수: 26)에 관해 3상 단락 고장과 1선 지락 고장을 5개소 계산하는데 계산 시간이 4분 정도 밖에 소요되지 않는다(단, 사용 전자계산기 IBM 1130).

5) 모선수: 80, 선로수: 200을 갖는 계통의 고장 해석의 경우라도 계산기의 기억 용량은 13K밖에 소요되지 않았다.

끝으로 본 논문 연구를 위하여 여러 가지 조언과 지도를 하여 주신 서울공대 전기과 여러 교수님들에게 감사사를 드리오며 특히 본 연구 시종일관 지도하여 주신 박영문 교수님께 심심한 사의를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Stagg and El-Abiad: "Computer Method in Power System Analysis" McGraw-Hill. pp. 79~184, 1968.
- 2) 関根泰次著: "電力系統解析理論". 電氣書院, pp. 63~159, 1971.
- 3) A.M Samsson and F.J, James: "Digital Methods Applied to Power Flow Studies" IEEE Vol. 86, 7, 1967. pp.860~867.
- 4) Edith Clark: "Circuit Analysis of AC Power" Vol. 1, John Wiley & Sons, Inc, New York. pp.363~401, 1950.
- 5) 朴永文: "小形電子計算機에 의한 大電力系統의 解析" 大韓電氣學會誌, 1972. 7, Vol. 21~No.4 pp. 39~44.
- 6) 韓國電力發行: "系統保護業務參考資料" 1972, 2
- 7) 木村允男編著: "技術者の ための 電子演算法" pp. 225~251