

다수 발전기 계통의 A행렬의 직접 계산법

권 세 혁
고려대학교

Direct Calculation of A Matrix in Multimachine
Electric Power Systems

Sae-Hyuk Kwon
Korea University

Abstract : Direct calculation algorithm for the elements of A matrix in multimachine power systems with constant impedance loads has been suggested. Generator's rotor parameters need not be determined from the manufacturer's data. We can identify the elements of A matrix into two categories: One is related to only generator parameters, and the other is related to generator parameters, initial values, and Z_{Bus} matrix.

1. 서 론

다수 발전기 계통으로 구성된 정임피던스부하의 전력 계통의 동태안정도 해석시, 계통의 동태(Dynamics)를 표현하는 계통의 미분방정식을 미소 신호 선형화하여 $\dot{X} = Ax + Bu$ 의 형태로 만들고 A행렬의 고유치를 조사하여 계통 변수들의 진동특성을 알수 있다. 본 연구에서는 A행렬의 각 원소를 기존 문헌 [1], [2]에 제시된 바와는 다른 방법으로 유도하여, 각 원소를 발전기 제작회사 공급 데이터, 초기 동작치, 및 Z_{Bus} 에서 직접적으로 구할수 있는 계산과정을 제안하였다.

2. 발전기 방정식

n개의 발전기로 구성된 정임피던스부하의 전력 계통의 모든 발전기를 가장 상세한 모델(Full Model)로 모델링할 경우 임의의 발전기의 전압방정식은 식(1)과 같다. 연동자극형(Round-rotor type) 발전기 회전자와 q축 동기 권선("g")도 고려하였다. d축 및 q축 제동 권선(과과 첨자 "kd" 및 "kq")의 인가전압 v_{kd} 및 v_{kq} 는 영이며, v_g 역시 영이다.

$$V = R \dot{i} + \omega N + \dot{\theta} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } V &= [v_d, v_f, v_{kd}, v_q, v_g, v_{kq}]^t \\ \dot{i} &= [i_d, i_f, i_{kd}, i_q, i_g, i_{kq}]^t \\ N &= [-\theta_q, 0, 0, \theta_d, 0, 0]^t \\ \theta &= [\theta_d, \theta_f, \theta_{kd}, \theta_q, \theta_g, \theta_{kq}]^t \\ R &= \text{diag}[-r, r_f, r_{kd}, -r, r_g, r_{kq}]^t \end{aligned}$$

발전기의 동요 방정식(Swing Equation)은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \tau \dot{\omega} &= T_m - T_e - D\omega \\ &= T_m - (i_q \theta_d - i_d \theta_q) - D\omega \\ \dot{\delta} &= \omega \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\tau = 2H/\omega_r$ (H: 관성정수 (sec))

D: 제동 계수

식(1)은 자속 최고수 θ 와 전류 i 의 혼합형이므로 식(3)의 관계를 이용하여 어느 한쪽으로 통일한다.

$$\left. \begin{aligned} \theta &= L \dot{i} \\ \text{또는 } \dot{i} &= L^{-1} \theta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서

$$L = \begin{bmatrix} -L_d & L_{afm} & L_{akd} & & & \\ -L_{afm} & L_{ff} & L_{fkd} & & & 0 \\ -L_{akd} & L_{fkd} & L_{kdkd} & & & \\ & & & -L_q & L_{agm} & L_{akqm} \\ & & & & -L_{agm} & L_{gg} & L_{gkq} \\ & & & & & -L_{akqm} & L_{gkq} & L_{kqkq} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\underline{L}^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & & & \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & & & 0 \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & & & \\ \hline & & & Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ & & & Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ & & & Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

식(3.2)의 행렬 L^{-1} 는 L의 역행렬이며, 각 원소는 표 1과 같이 정리할 수 있다. 식(1) 및 식(2)를 초기 동작점(참자 "0"으로 표시)에 대하여 미소신호선형화하여 식(4)와 같이 쓸 수 있다. 통상 초기각속도 ω_0 는 1 p.u.이다.

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u} \quad (4)$$

여기서 $\underline{x} = [\theta_d, \theta_f, \theta_{kd}, \theta_q, \theta_g, \theta_{kq}, \omega, \delta]^t$
 $\underline{B} \underline{u} = [-v_d, v_f, 0, -v_q, 0, 0, T_m/\zeta, 0]^t$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} -r_{d11} & 0 & -r_{d13} & \omega_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r_f^{D22} & -r_f^{D23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -r_{kd}^{D31} & -r_{kd}^{D32} & -r_{kd}^{D33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -\omega_0 & 0 & 0 & -r_{q11} & -r_{q13} & -r_{q15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -r_g^{Q22} & -r_g^{Q23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r_{kq}^{Q31} & -r_{kq}^{Q32} & -r_{kq}^{Q33} & 0 & 0 \\ \hline (-i_{q0}^{D11} \theta_{q0})/\zeta & 0 & D_{13} \theta_{q0}/\zeta & (i_{d0}^{D11} \theta_{d0})/\zeta & 0 & -q_{13} \theta_{d0}/\zeta & -D_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

표 1. 역행렬 L^{-1} 의 각원소

원소	기호명
D ₁₁	-1/L _d ⁰
D ₁₂	0
D ₁₃	(L _d -L _d ⁰)/(L _d ⁰ (L _d -L _e))
D ₂₁	0
D ₂₂	1/(L _{ff} -L _{fk_d})
D ₂₃	-(L _d -L _d ⁰)/(L _{fk_d} (L _d ⁰ -L _d ⁰))
D ₃₁	-(L _d -L _d ⁰)/(L _d ⁰ (L _d -L _e))
D ₃₂	D ₂₃
D ₃₃	L _d ⁰ (L _d -L _d ⁰)/(L _d ⁰ L _{fk_d} (L _d ⁰ -L _d ⁰))
Q ₁₁	-1/L _q ⁰
Q ₁₂	0
Q ₁₃	(L _q -L _q ⁰)/(L _q ⁰ (L _q -L _e))
Q ₂₁	0
Q ₂₂	1/(L _{gg} -L _{gk_q})
Q ₂₃	-(L _q -L _q ⁰)/(L _{gk_q} (L _q ⁰ -L _q ⁰))
Q ₃₁	-(L _q -L _q ⁰)/(L _q ⁰ (L _q -L _e))
Q ₃₂	Q ₂₃
Q ₃₃	L _q ⁰ (L _q -L _q ⁰)/(L _q ⁰ L _{gk_q} (L _q ⁰ -L _q ⁰))

식(4.1)에 보인 A행렬의 각 원소를 계산하려면 발전기회전자정수인 r_f, r_{kd}, r_g, r_{kq} 등을 구하여야 하며, 표 1에서 보인바와 같이 L_{ff}, L_{gg}, L_{fk_d}, L_{gk_q} 등의 발전기회전자의 인덕턴스들을 발전기 계통 제작회사의 공급데이터로부터 역산하여야 하므로 불편하다. 이 역산과정을 거치지 않고 A행렬의 원소들을 공급데이터로부터 직접적으로 구할 수 있으며 이를 표 2에 요약·정리하였다.

3. 계통방정식

계통내의 각 발전기의 단자전압 및 단자전류를 계통 기준 및 발전기 q축 기준으로 한 두개의 표현(Representation)간에는 다음의 관계가 있다. 여기서 참자 "D" 및 "Q"는 계통 기준에 대한 표현을 의미하며, 참자 "a" 및 "q"는 발전기 q축에 대한 표현을 나타낸다. j 번째 발전기에 대하여

$$[V_{Dj}, V_{Qj}]^t = [T_j] [V_{aj}, V_{qj}]^t \quad (5.1)$$

$$[I_{Dj}, I_{Qj}]^t = [T_j]^t [I_{aj}, I_{qj}]^t \quad (5.2)$$

표 2. A행렬의 각원소

원소	기호명
a ₂₂	-r _f D ₂₂
a ₂₃	-r _f D ₂₃
a ₃₁	-r _{kd} D ₃₁
a ₃₂	-r _{kd} D ₃₂
a ₃₃	-r _{kd} D ₃₃
a ₅₅	-r _g Q ₂₂
a ₅₆	-r _g Q ₂₃
a ₆₄	-r _{kq} Q ₃₁
a ₆₅	-r _{kq} Q ₃₂
a ₆₆	-r _{kq} Q ₃₃

* 여기서 시정수 T_{d0}, T_{q0}, T_{d0}⁰, 및 T_{q0}⁰는 p.u. 단위

여기서

$$[T_j] = \begin{bmatrix} \cos \delta_j & -\sin \delta_j \\ \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix}$$

계통 기준에 대하여 각 발전기 단자전압과 전류는

$$\bar{I} = [Y_{BUS}] \bar{V} \quad (6.1)$$

$$\text{또는 } \bar{V} = [Z_{BUS}] \bar{I} \quad (6.2)$$

식(6.2)에서 j번째 발전기의 단자전압 \bar{V}_j 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{V}_j = \sum_{k=1}^n z_{jk} \bar{I}_k \quad (7)$$

식(7)을 실수 형식으로 바꾸면

$$\begin{bmatrix} V_{Dj} \\ V_{Qj} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} R_{jk} \\ X_{jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{DK} \\ I_{QK} \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서

$$[R_{jk}] = \begin{bmatrix} R_{jk} & -X_{jk} \\ X_{jk} & R_{jk} \end{bmatrix}$$

식(5)와 식(8)에서 다음 관계를 얻는다.

$$\begin{aligned} [V_{dqj}] &= [V_{dj}, V_{qj}]^t \\ &= \sum_{k=1}^n [T_j]^t [R_{xjk}] [T_k] [I_{dqk}] \end{aligned} \quad (9)$$

여기서

$$[I_{dqk}] = [I_{dk}, I_{qk}]^t$$

식(9)를 초기동작점에 대하여 미소신호 선형화하면

$$\begin{aligned} [V_{dqj}] &= \sum_{k=1}^n [R_{xjk}] [T_{jko}]^t [I_{dqk}] \\ &+ \sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [S_{jko}] [I_{dqko}] \delta_{jk} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$$[S_{jko}] = \begin{bmatrix} -\sin \delta_{jko} & \cos \delta_{jko} \\ -\cos \delta_{jko} & -\sin \delta_{jko} \end{bmatrix}$$

r번째 발전기의 q축의 위상각 δ_r 을 기준으로 하면

$$\delta_{jk} = (\delta_r - \delta_k) - (\delta_r - \delta_j) = \delta_{rk} - \delta_{rj} \quad (11)$$

식(10)을 다시 쓰면

$$[V_{dqj}] = [R_{xjj}] [I_{dqj}] + \sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [T_{jko}]^t [I_{dqk}]$$

$$\begin{aligned} &+ \sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [S_{jko}] [I_{dqko}] \delta_{rk} \\ &- \left(\sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [S_{jko}] [I_{dqko}] \right) \delta_{rj} \end{aligned} \quad (12)$$

식(3.2)에서

$$[I_{dqk}] = [DQ_k] \phi_k \quad (13)$$

여기서

$$[DQ_k] = \begin{bmatrix} D_{k11} & 0 & D_{k13} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{k11} & 0 & Q_{k13} \end{bmatrix}$$

$$\phi_k = [\phi_d, \phi_f, \phi_{kd}, \phi_q, \phi_g, \phi_{kc}]^t (K)$$

또한

$$\begin{aligned} [S_{jko}] [I_{dqko}] &= [T_{jko}]^t \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dko} \\ i_{qko} \end{bmatrix} \\ &= [T_{jko}]^t \begin{bmatrix} i_{qko} \\ -i_{dko} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (14)$$

식(12)를 식(13) 및 식(14)의 관계를 이용하여 정리하면

$$\begin{aligned} [V_{dqj}] &= [R_{xjj}] [DQ_j] \phi_j + \sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [T_{jko}]^t [DQ_k] \phi_k \\ &+ \sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [I_{jko}]^t \begin{bmatrix} i_{qko} \\ -i_{dko} \end{bmatrix} \delta_{rk} \\ &- \left(\sum_{k \neq j} [R_{xjk}] [T_{jko}]^t \begin{bmatrix} i_{qko} \\ -i_{dko} \end{bmatrix} \right) \delta_{rj} \end{aligned} \quad (15)$$

식(15)를 식(4)에 대입하여 정리하면 식(16)과 같다.

$$\begin{aligned} j &= 1, 2, \dots, n \\ \dot{\phi}_j &= A_{vv}(j, j) \phi_j + \sum_{k \neq j} A_{vv}(j, k) \phi_k + A_{vs}(j, j) \omega_j \\ &+ \frac{A}{V_A} \dot{\delta} + f \end{aligned} \quad (16-1)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_j &= \left[\frac{(i_{qo} + D_{11} \phi_{qo})}{\tau}, 0, \frac{D_{13} \phi_{qo}}{\tau}, \frac{(i_{do} - Q_{11} \phi_{do})}{\tau}, 0, \right. \\ &\left. - \frac{Q_{13} \phi_{do}}{\tau} \right]_{(j)} \cdot \phi_j - \frac{D_j}{\tau_j} \omega_j + \frac{T_{mj}}{\tau_j} \end{aligned} \quad (16-2)$$

$$\dot{\omega} = [\dot{\delta}_{r1}, \dot{\delta}_{r2}, \dots, \dot{\delta}_{r,r-1}, \dot{\delta}_{r,r+1}, \dots, \dot{\delta}_{rn}]^t \quad (16-3)$$

$$= \begin{matrix} & 1 & 2 & \dots & r-1 & r & r+1 & \dots & n \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ r-1 \\ r+1 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

식(16)의 미소신호선형화미분방정식을 그림1과 같이 표시하기로 하고, 각 부분행렬의 구조에 대하여 고찰하였다. 표현을 간단히 하기 위하여 3개 발전기 계통에 대한 수식으로 예를 들기로 한다. 1번 발전기의 즉 위상각을 기준으로 잡은 경우이다. 이하의 요약한 내용은 n개 발전기 계통에 대해서도 무리없이 확장할 수 있다.

4. A행렬의 구조

그림1의 미소신호선형화미분방정식으로 표시된 $\dot{x}=AX+BU$ 형태의 수식에서 A행렬을 분할하여 각 부분행렬의 원소들을 유도하였다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \\ \dot{\omega}_3 \\ \dot{\delta}_{12} \\ \dot{\delta}_{13} \end{bmatrix} = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & & & & & & \\ & A_{VV} & & & A_{VS} & & & & A_{VA} \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ A_{SV} & & & & A_{SS} & & & & 0 \\ & & & & & & & & \\ 0 & & & & 1 & -1 & 0 & & 0 \\ & & & & 1 & 0 & -1 & & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \delta_{12} \\ \delta_{13} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{f_1}{T_{m1}/\tau_1} \\ \frac{f_2}{T_{m2}/\tau_2} \\ \frac{f_3}{T_{m3}/\tau_3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

그림 1. 미소신호선형화미분방정식

(1) 부분행렬 A_{VV}

표 3에 부분행렬 A_{VV} 의 대각원치분류 $A_{VV}(j,j)$ (6×6 행렬)의 각 원소들 기호형으로 표현하였다. 모든 원소는 발전기데이터 및 Z_{Bus} 행렬의 (j,j) 번째 원소 R_{jj} 및 X_{jj} 에서 유도할 수 있다. 표 1에서 *표시가 되어 있지 않은 원소들은 R_{jj} 및 X_{jj} 에 전혀 무관하며 발전기정수들로만 결정된다. 즉 계통의 초기동작조건이 변화하더라도 이들 원소들은 변화하지 않는다.

부분행렬 A_{VV} 의 대각원치분류 $A_{VV}(j,k)$ (6×6 행렬: $j \neq k$)은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & a_{14} & 0 & a_{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & a_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

여기서

$$\begin{aligned} a_{11} &= -(a_{jk}+b_{jk})D_{k11} \\ a_{13} &= -(a_{jk}+b_{jk})D_{k13} \\ a_{14} &= -(c_{jk}-d_{jk})Q_{k11} \\ a_{16} &= -(c_{jk}-d_{jk})Q_{k13} \\ a_{41} &= (c_{jk}-d_{jk})D_{k11} \\ a_{43} &= (c_{jk}-d_{jk})D_{k13} \\ a_{44} &= -(a_{jk}+b_{jk})Q_{k11} \\ a_{46} &= -(a_{jk}+b_{jk})Q_{k13} \\ a_{jk} &= R_{jk} \cos \delta_{jko} \\ b_{jk} &= X_{jk} \sin \delta_{jko} \\ c_{jk} &= R_{jk} \sin \delta_{jko} \\ d_{jk} &= X_{jk} \cos \delta_{jko} \end{aligned} \quad (18)$$

표 3. 행렬 A_{VV} 의 대각원치의 부분행렬의 원소

원소	기호형 표현
	$k_q = (L_q - L_q'')(L_q - L_e)^{-1} L_q''^{-1}$
a_{11}^*	$-(x_i + R_{ii})L_d''^{-1}$
a_{13}^*	$(x_i + R_{ii})K_d$
$a_{22}, -a_{23}$	$-(L_d - L_d'')(T_{do}'(L_d' - L_d''))^{-1}$
a_{31}^*	$(L_d' - L_d'')(L_d - L_e)(T_{do}'' L_d''(L_d - L_d''))^{-1}$
a_{32}	$(L_d - L_d')(T_{do}''(L_d - L_d''))^{-1}$
a_{33}	$-L_d'(T_{do}'' L_d'')^{-1}$
a_{41}^*	$-1 - x_{ii} L_d''^{-1}$
a_{43}^*	$x_{ii} K_d$
	$k_q = (L_q - L_q'')(L_q - L_e)^{-1} L_q''^{-1}$
a_{44}^*	$-(x_i + R_{ii})L_q''^{-1}$
a_{46}^*	$(x_i + R_{ii})K_q$
$a_{55}, -a_{56}$	$-(L_q - L_q'')(T_{qo}'(L_q' - L_q''))^{-1}$
a_{64}	$(L_q' - L_q'')(L_q - L_e)(T_{qo}'' L_q''(L_q - L_q''))^{-1}$
a_{65}	$(L_q - L_q')(T_{qo}''(L_q - L_q''))^{-1}$
a_{66}	$-L_q'(T_{qo}'' L_q'')^{-1}$
a_{14}^*	$1 + x_{ii} L_q''^{-1}$
a_{16}^*	$-x_{ii} K_q$

*표시가 있는 원소들은 R_{ii} 또는 X_{ii} 가 변동되면 그 값이 바뀐다.

(2) 부분 행렬 A_{Vs}

부분 행렬 A_{Vs} 는 블록 대각행렬이며 대각블록은 다음과 같다.

$$A_{Vs}(j, j) = [-\delta_{q0}, 0, 0, \delta_{d0}, 0, 0]^t \quad (19)$$

(3) 부분 행렬 A_{Sv}

부분 행렬 A_{Sv} 는 블록 대각행렬이며 대각블록은 다음과 같다.

$$A_{Sv}(j, j) = \frac{1}{\tau_j} [(-i_{q0} + D_{11}\delta_{q0}, 0, D_{13}\delta_{q0}, (i_{d0} - Q_{11}\delta_{d0}), 0, -Q_{13}\delta_{d0})] \quad (20)$$

(4) 부분 행렬 A_{Ss}

부분 행렬 A_{Ss} 는 대각행렬이며 각 대각요소는

$$A_{Ss}(j, j) = -D_j / \tau_j$$

(5) 부분 행렬 A_{VA}

$$A_{VA}(r, K) = [-(a_{rk} + b_{rk})i_{qko} + (C_{rk} - d_{rk})i_{dko}, 0, 0, (C_{rk} - d_{rk})i_{qko} + (a_{rk} + b_{rk})i_{dko}, 0, 0]^t \quad (21)$$

$K \neq r$

$$A_{VA}(j, K) = [-(a_{jk} + b_{jk})i_{qko} + (C_{jk} - d_{jk})i_{dko}, 0, 0, (C_{jk} - d_{jk})i_{qko} + (a_{jk} + b_{jk})i_{dko}, 0, 0]^t \quad (22)$$

$j \neq r$
 $j \neq K$

$$A_{VA}(j, j) = -\sum_{K \neq j} A_{VA}(j, K) \quad (23)$$

이상에서 n 개 발전기 계통의 모든 발전기를 상세한 모델로 표현하였을 경우 A 행렬의 각 부분 행렬의 계산 공식을 제시하였다. 이들 부분 행렬의 모든 원소는 발전기 제작회사 공급 데이터, 초기 동작점에서의 초기치 및 계통의 Z_{Bus} 행렬에서 모두 구할 수 있다. 본 연구에서의 계산 알고리즘을 참고 문헌 [1], [2]에 요약된 알고리즘과 비교하면 그림 2와 같다.

5. 결론

본 연구에서는 n 개 발전기 계통의 동태안정도 해석시 모든 발전기를 상세한 모델로 표현한 경우 A 행렬의 직접 계산방법을 제시하였다.

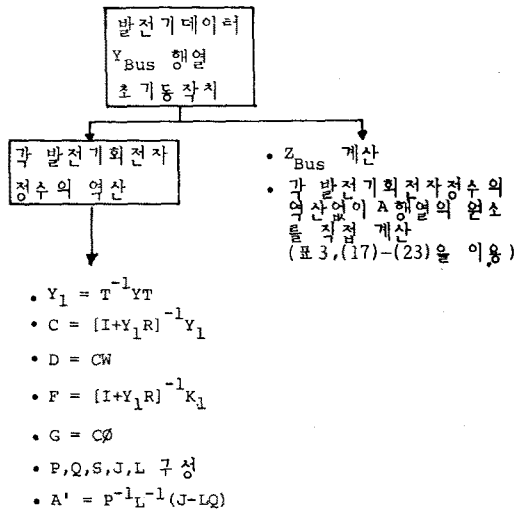


그림 2. 계산 알고리즘의 비교

- (1) 발전기 회전자 정수 r_f, r_{kd}, r_g, r_{kq} 및 $L_{eff}, L_{kdkd}, L_{gg}, L_{kqkq}$ 등을 발전기 데이터로 부터 역산하는 과정을 생략할 수 있다.
- (2) 그림 2에 제시된 계산과정을 통하여 A 행렬을 구하는 대신 3장에 요약된 계산공식으로 A 행렬의 모든 원소를 직접 계산할 수 있다.
- (3) A 행렬의 모든 원소를 기호형으로 표시할 수 있으므로 초기 동작치와 무관한 A 행렬의 원소를 구분할 수 있다. 그러므로 동일 계통에서 여러개의 서로 다른 동작점에 대한 A 행렬 계산시 초기 동작치의 변화에 관계되는 원소만을 선별하여 계산할 수 있다.

6. 참고 문헌

[1] 奥根泰次, 電力系統過渡解析論, 木下社, 1984
 [2] J.M. Undrill, "Dynamic Stability Calculations for an Arbitrary Number of Interconnected Synchronous Machines", IEEE Trans. PAS-87, pp.835-844, 1968.