

# 과도안정도 향상을 위한 동적제동 제어기법

신 명 철, 박 기 현, 민 형 복, 권 명 현\*

성균관대학교 공과대학 전기공학과

## Dynamic braking control technique for improving transient stability of the power system

Myung-Chul Shin, Ki-Heon Park, Hyoung-Bok Min, Myung-Hyun Kwon  
Dept. of Electrical Eng., Sungkyunkwan University

**ABSTRACT** - This study suggests a dynamic braking control algorithm in order to improve the transient stability of a multimachine power system. Dynamic braking control has been known as an effective method by which transient stability of power systems could be improved.

Under the context, the study suggests a modified MRVM which possibly handles more rapid on-line computation through the improvement of the conventional MRVM(Model Referenced Velocity Matching). In order to resolve the phenomenon of stability recovery hinderance due to the prolonged dynamic braking control under the stable equilibrium state and chattering problem, the study also composes an algorithm in such a way that dynamic braking control could be prohibited by setting-up absolute stability region. Lastly, a comparison with the results derived from the application of the conventional control technique to the model power system is made in order to prove the superiority of the suggested control technique.

### 1. 서론

전력계통의 과도안정도 향상을 위한 제어기법들이 다양하게 제시되었으나, [1] 최근에는 발전기 모션이나 그 중요부근에 브레이크 저항기(brake resistor)를 삽입하여 계통의 과도상태를 제어하는 기법이 많이 연구되고 있다. 이런 브레이크 저항기가 적절한 시간에 삽입되었을때, 발전기 회전자의 가속에 대해서 제동장치(brake)의 역할을 하게 되어 과도상태를 제어할 수 있으므로 이 방법을 "동적제동"(dynamic braking)제어라고 한다. [2] 시뮬레이션 프로그램을 이용한 동적제동 제어의 적용을 위한 초기의 제어기법은 최적으로 고려된 일정한 시간 동안 브레이크 저항기가 삽입되는 제어 기법에서 시작되었으며, 이 제어기법은 전력계통의 다양한 외란에 대해서 적절히 대처하기가 곤란한 것으로 지적되었다. 또한 발전기 회전자의 상차각과 각속도를 매 순간적인 시간에 측정하고, 미리 정해진 한계를 벗어날 때 브레이크 저항기를 삽입하도록 하는 제어기법이 제시되었으나 많은 횡수의 브레이크 스위칭 작용으로 인한 채터링(chattering)현상과 용량의 가변 등 많은 문제점이 제기되었다. [3] 따라서 이러한 문제점을 해소하고 다기 전력계통에도 적용될 수 있는 여러가지 동적제동 제어기법이 연구되고 있다. 이런 제어 기법들에는 이미 알려져 있는 정상상태 동작점(target)을 최적으로 향하는 OA(Optimal Aim)제어기법과 안정한 정상상태의 기준모델을 설정하여 시스템의 상태를 정상상태로 유도하는 모델기준(Model Referenced Velocity Matching :MRVM)제어기법으로 대별할 수 있다. [4,5]

본 논문에서는 다기 전력계통의 과도안정도 향상을 위하여 모델기준 제어기법을 개선하여 더욱 빠른 제어가 이루어

질 수 있도록 하였다. 또한 종래의 동적제동 제어기법의 단점인 채터링 문제와 안정영역으로 복귀된 상태에서도 동적제동 제어가 계속되어 안정도의 회복에 저해되는 현상을 절대 안정영역을 설정하여 동적제동 제어가 금지되도록 알고리즘을 구성하여 해결하였다. 제시된 알고리즘을 모델 전력계통에 적용하여 종래의 제어기법에 의한 결과와 비교, 검토하여 본 논문에서 제시한 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

### 2. 동적제동 제어기법

#### 2.1 전력 계통의 수학적 모델

n개의 발전기로 구성된 전력계통에서 j번째 발전기는 과도 리액턴스 배후전압(voltage-behind-transient-reactance)을 이용하여 표현하면 동요방정식은 식(1)과 같다.

$$M_j \ddot{\delta}_j + D_j \dot{\delta}_j + P_{ej}(\delta, u) = P_{mj} \quad (1)$$

여기서,  $\delta_j, M_j, D_j$ 는 각각 j번째 발전기의 상차각, 관성상수, 감쇠정수이고,  $P_{mj}$ 는 j번째 발전기의 기계적 입력이며,  $P_{ej}$ 는 j번째 발전기의 전기적 출력을 나타내며 제어항 u와 상차각  $\delta$ 의 복잡한 비선형 함수로 표현된다. 만일 제어항 u가 0이면, 그때의 j번째 발전기의 전기적 출력  $P_{ej}$ 는 식(2)와 같다.

$$P_{ej}(\delta, 0) = E_j \sum_{m=1}^n E_m Y_{jm} \cos(\theta_{jm} - \delta_j + \delta_m) \quad (2)$$

이 때,  $E_j$ 는 j번째 발전기의 과도리액턴스 배후전압의 크기이며,  $Y_{jm} = Y_{jm} L \theta_{jm}$ 은 j번째 발전기와 m번째 발전기 사이의 전달 어드미턴스이다. 식(1)을 상태방정식의 형태로 나타내면 식(3)으로 표현되고,

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (3)$$

상태벡터  $x(t)$ 는 n개의 발전기로 구성된 시스템 상태를 각각의 상차각과 각속도로 표현한 것으로 다음 식(4)와 같다.

$$x(t) = \text{col}(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \quad (4)$$

따라서 식(3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_i(x, u) = \begin{cases} \omega_i, & i \leq n \\ M_j^{-1} [P_{mj} - D_j \omega_j - P_{ej}(\delta, u)], & i > n \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $j = i - n$  이고, 제어함수 u는 0을 포함한 브레이크 저항기의 크기에 의해 정해진 제어값의 집합이다.

#### 2.2 제어기법

n개의 발전기로 구성된 전력계통에서 고장발생시 각각의 순간적인 시간에서 시스템상태가 측정될 수 있고, 시스템의 안정한 정상상태 동작점은 알고 있다고 가정하며, 상태공간에서 시스템상태를 표시하면 그림 1과 같다.

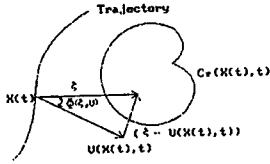


그림 1. 상태공간에서의 제어집합과 시스템상태 궤적

그림 1에서 제어집합  $C_T(x(t), t)$ 는  $\dot{x}(t) = \xi$ 인 속도벡터의 점들의 집합이며, 동적제동 제어의 적용시 브레이크 저항기의 크기에 의해 제어항  $u$ 가 정해진다는 사실에 의해 한정되며, 다음과 같이 표현된다.

$$C_T(x(t), t) = \{ \xi \in R^{2n} \mid \xi = f(x(t), u), u \in \Omega \} \quad (6)$$

모델기준 제어기법은 고장난 시스템상태를 제어 한계내에서 이미 알려져 있는 정상상태 궤적으로 수렴하게 하는 것으로 기준벡터(reference vector)  $V(x, t)$ 는 시스템의 정상상태 궤적을 가정하여 얻어지며, 속도벡터(velocity vector)  $\xi$ 는 실제의 상태벡터의 도함수이다.

이때 기준벡터  $V(x, t)$ 는 알려져 있는 정상상태 궤적을 향하는 벡터로 가정되므로 상태방정식으로 표현하면 식(7)과 같다.

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) \quad (7)$$

$$\text{여기서, } f(x) = \begin{bmatrix} \omega \\ M^{-1}(P, -D\omega - P_{\max} \sin \delta) \end{bmatrix} \text{ 이고,}$$

안정한 평형상태(stable equilibrium state)  $x_s = \begin{bmatrix} \delta_s \\ 0 \end{bmatrix}$ 에 대해 식(7)을 선형화하면  $\dot{x} = Ax$  이고, 상태행렬  $A$ 는 식(8)과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -P_{\max} M^{-1} \cos \delta_s & -\frac{D}{M} \end{bmatrix} \quad (8)$$

따라서 모델기준 제어기법에서의 기준벡터  $V(x, t)$ 는 식(9)로 구할 수 있으며, 속도벡터  $\xi$ 는 정의에 의해 식(10)으로 구할 수 있다.

$$V(x, t) = Ax(t) \quad (9)$$

$$\xi = \dot{x}(t) \quad (10)$$

여기서, 안정한 평형상태  $x_s = \text{col}(\delta_s^1, \dots, \delta_s^n, \omega_s^1, \dots, \omega_s^n)$ 이고, 각각의 요소는 각 발전기의 알려져 있는 안정한 평형상태에서의 상차각과 각속도를 나타낸다. 이때 그림 1에 나타난 것처럼 기준벡터  $V(x, t)$ 와 속도벡터  $\xi$ 사이의 Hilbert 공간각을  $\phi(\xi, V)$ 로 표시하며 다음 식(11)로 구할 수 있다.

$$\phi(\xi, V) = \begin{cases} 0 & \text{for } \xi = 0, V \neq 0 \\ \cos^{-1} \left[ \frac{\langle \xi, V \rangle}{\|\xi\| \|V\|} \right] & \text{for } \xi \neq 0, V \neq 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{for } V = 0 \end{cases} \quad (11)$$

여기서,  $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 와  $\|\cdot\|$ 는 각각 내적(inner product)과 유클리드 노름(Euclidean norm)을 의미한다.

이때 모델기준 제어기법은 식(12)의 속도벡터  $\xi^*$ 를 찾아 내어 정상상태 궤적으로 제어하게 된다.

$$\hat{\phi}(\xi, \cdot) = \min_{\xi \in C_T} \phi(\xi, \cdot) \text{ 일때,}$$

$$\xi^* = \begin{cases} \min_{\xi} \|\xi\|, & \text{for } \hat{\phi} < \frac{\pi}{2} \\ \max_{\xi} \|\xi\|, & \text{for } \hat{\phi} \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (12)$$

그러므로 모델기준 제어기법은 시스템의 상태를 이미 알려져 있는 안정한 평형상태  $x_s$ 로 제어하기 위해 기준벡터  $V(x, t)$ 와 속도벡터  $\xi$ 사이의 Hilbert 공간각을 최소화 혹은

최대화하는 속도벡터  $\xi^*$ 를 찾는 것이다.

또한 모델기준 제어기법의 연산시간을 줄이고 보다 빠른 제어를 하기위해서 개선된 모델기준(modified MRVM) 제어기법에서는 다음 식(13)으로써 속도벡터를 구할 수 있다.

$$\xi^* = \min_{\xi \in C_T} \|\xi - V(x, t)\| \quad (13)$$

식(13)은 기준벡터  $V(x, t)$ 와 속도벡터  $\xi$ 사이의 Hilbert 공간각을 연산하는 부담을 줄이고 두 벡터사이의 거리를 구함으로써 더욱 정확하게 안정한 정상상태 궤적에 근접한 속도벡터를 선택할 수 있다. 따라서 개선된 모델기준 제어기법은 단지 두 벡터의 차의 크기만을 구하고, 이것을 이용하여 크기가 작은 속도벡터를 선택함으로써 더욱 빠르게 안정한 정상상태로 제어할 수 있다.

### 3. 과도안정도의 판별

#### 3.1 Lyapunov의 직접법

$n$ 개의 발전기로 구성된 전력계통에서 과도안정영역  $\Lambda$ 을 설정하기 위한 Lyapunov함수  $\Gamma(x)$ 는 식(14)와 같이 표현할 수 있다.[6]

$$\begin{aligned} \Gamma(\delta_1, \dots, \delta_n, \omega_1, \dots, \omega_n) &= \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} M_j W_j^2 + \sum_{j=1}^n (E_j^2 G_{jj} - P_{ej})(\delta_j - \delta_j^s) \\ &+ \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{m=j+1}^n E_j E_m [B_{jm} [\cos(\delta_j^s - \delta_m^s) - \cos(\delta_j - \delta_m)] \\ &+ G_{jm} [\sin(\delta_j^s - \delta_m^s) - \sin(\delta_j - \delta_m)]] \end{aligned} \quad (14)$$

식(14)는  $n$ 개의 발전기로 구성된 전력계통의 전체에너지를 나타내며, 첫번째 항은 모든 발전기 회전자의 운동에너지를, 두번째 항은 회전자의 위치에너지를, 그리고 마지막 항은 송전선로의 저장에너지와 소모에너지를 각각 나타낸다. 이때 과도 안정영역  $\Lambda$ 는 다음 식(15)와 같이 표현된다.

$$\Lambda = \{ x_u = \text{col}(\delta_1^u, \dots, \delta_n^u, \omega_1^u, \dots, \omega_n^u) \mid \Gamma(x_u) = r_m \} \quad (15)$$

여기서,  $x_u$ 는 불안정한 평형상태(unstable equilibrium state)이고,  $r_m$ 은 양의 상수값이다. 따라서, 과도안정영역  $\Lambda$ 는 불안정한 평형상태  $x_u$ 에서 계산된 전체 에너지  $r_m$ 값 보다 작은 영역이다.

#### 3.2 절대안정영역

동적제동 제어의 목적은 고장난 시스템의 상태를 안정한 평형상태로 보다 빠르게 유도하여 시스템의 과도안정도를 향상하는데 있다. 그러나, 동적제동 제어에 의해 시스템 상태가 안정한 평형상태(stable equilibrium state)로 될 때 동적제동 제어에 의한 브레이크 저항기의 삽입은 과도한 부하의 삽입과 같은 역할을 함으로써 시스템의 안정도를 흐트러뜨릴 수도 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 모순점을 해결하고 보다 빠르게 안정한 평형상태로 제어하기 위해 절대안정영역  $\Lambda_A$ 를 설정하여 과도안정도를 판별하였다. 절대안정영역 내부에서의 시스템 상태는 동적제동 제어를 적용하지 않아도 안정한 정상상태로 진행할 수 있으므로 절대안정영역  $\Lambda_A$ 는 식(16)으로 표현할 수 있다.

$$\Lambda_A = \{ x_A = \text{col}(\delta_A^1, \dots, \delta_A^n, \omega_A^1, \dots, \omega_A^n) \mid \quad (16)$$

$$\sqrt{\sum_{j=1}^n a_j (\delta_j^A - \delta_j^s)^2 + b_j (\omega_j^A - \omega_j^s)^2} < r_m \}$$

이때  $0 < a_j < 1$ 이고  $0 < b_j < 1$ 이며, 절대안정영역은 안정한 평형상태를 원점으로 하는 타원의 형태가 된다. 식(16)은 불안정한 평형점에서 계산된 전체 에너지값  $r_m$ 에 의해 절대안정영역이 제한되므로 식(17)과 같이 시행착오법에 의해 안정한 평형상태를 둘러싸는 절대안정영역  $\Lambda_A$ 를 설정할 수 있다.

$$\Lambda_A = \sqrt{[(\Delta\omega)_A^2 + (\Delta\delta)_A^2]} \quad (17)$$

$$(\Delta\omega)_A = 0.75 \text{ rad/sec}, (\Delta\delta)_A = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

#### 4. 분산 제어 알고리즘

동적제동 제어를 위해 브레이크 저항기가 설치된 n개의 발전기중에서 j번째 발전기 모선의 구조를 단선도로 표시하면 그림 2와 같다.

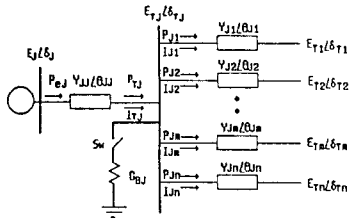


그림 2. 브레이크 저항기가 설치된 j번째 발전기모선의 단선도 이때 동적제동 제어를 위한 속도벡터  $\xi_1$ 과  $\xi_2$ 는 다음 식 (18)과 같다.

$$\xi_1 = f(x(t), 0) \quad (18a)$$

$$\xi_2 = f(x(t), u(t)) \quad (18b)$$

식(18a)는 브레이크 저항기가 연결되지 않았을 때의 전력  $P_{ej}$ 에 의해 구해지는 속도벡터이고, 식(18b)는 브레이크 저항기가 연결되었을 때의 전력  $P_{ej}$ 에 의해 구해지는 속도벡터이다. 따라서 브레이크 저항기의 스위칭이 가중되어 계산된 두개의 전력  $P_{ej}$ 를 이용하여 두개의 속도벡터  $\xi_1$ 과  $\xi_2$ 를 구할 수 있으며, 식(19)에 나타내었다.

$$\xi_1 = \begin{bmatrix} \omega \\ M_j^{-1} [P_{ej} - D_j \omega - P_1] \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\xi_2 = \begin{bmatrix} \omega \\ M_j^{-1} [P_{ej} - D_j \omega - P_2] \end{bmatrix}$$

여기서,  $P_1$ 은 브레이크가 연결되지 않았을때 구한 전력  $P_{ej}$ 이며,  $P_2$ 는 브레이크가 연결되었을때 구한 전력  $P_{ej}$ 이다. 따라서, 속도벡터  $\xi_1$ 과  $\xi_2$ 를 계산하고, 기준벡터를 구한 후 제어기법에 적용하여 속도벡터를 선택하고 이때의 브레이크 스위칭 상태를 제어하므로써 과도안정도를 향상시킬 수 있다. 따라서, n개의 발전기로 구성된 전력계통에서 j번째 발전기의 1기 무한대모선 모델계통에 대한 적용을 통하여 전력계통의 각 발전기에서의 과도안정도 향상을 위한 분산제어가 가능하며, 전반적인 분산제어 알고리즘은 그림 3의 흐름도에 나타내었다.

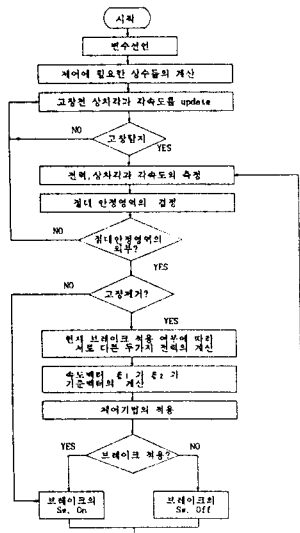


그림 3. 분산제어 알고리즘의 흐름도

#### 5. 시뮬레이션

##### 5.1 모델 전력계통

본 논문에서 제시된 동적제동 제어기법을 적용하여 과도안정도 향상을 기대할 수 있는 분산제어를 위해서 n개의 발전기로 구성된 전력계통에서 j번째 발전기에 동적제동제어를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션을 위한 모델계통은 그림 4와 같다.

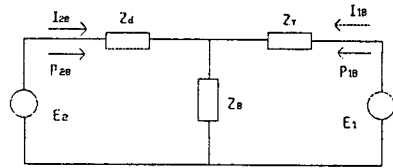


그림 4. 브레이크 저항기가 설치된 1기 무한대 모선계통

시뮬레이션을 위하여 Synchro Model 4, #3634, 115-90 VAC, 3상, 3600rpm, 단상 계자권선, 그리고 제동권선이 없는 동기발전기 모델의 파라메타를 이용하였으며, 여자 시스템(excitation system)은 IEEE Standard type I 여자 시스템의 파라메타를 이용하였다. [9]

##### 5.2 시뮬레이션 방법

동적제동 제어기법의 시뮬레이션은 그림 4의 1기 무한대 모선 전력계통에서 고장발생시 동요방정식의 해를 구하고, 이때의 발전기 회전자의 상차각  $\delta$ 와 각속도  $\omega$ 를 각각의 시간에서 상태벡터  $x(t)$ 를 계산하고 제시된 절대안정영역을 결정하도록 하였다. 그리고 초기과도 고장시 전력  $P_{11}$ , 과도고장시 전력  $P_{12}$ , 브레이크 저항기가 삽입되지 않았을 때의 전력  $P_2$ 와 브레이크 저항기가 삽입되었을 때의 전력  $P_3$ 를 계산하였다. 따라서 분산제어 알고리즘에 의해 계산된 두가지 전력을 이용하여 두 개의 속도벡터를 알 수 있고, 이것을 기준벡터와 비교하여 각각의 제어기법에 의해 안정한 평형상태에 근접하는 속도벡터를 구하여 이때의 브레이크 저항기의 스위칭을 제어하도록 하였다.

##### 5.3 시뮬레이션 결과 및 고찰

전력계통 보호에 디지털릴레이가 적용될 때, 대략 100ms 정도의 고장차단시간을 이용한 동적제동 제어 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 기존의 아날로그 계전기기에 의한 고장차단시간을 800ms와 900ms를 이용하여 시뮬레이션한 결과와 비교하였으며, 이때 임계제거시간(critical clearing time)은 등면적법(equal area criterion)을 이용하여 임계고장제거각을 구한 후 시간으로 환산하면 870ms로 계산되었다.

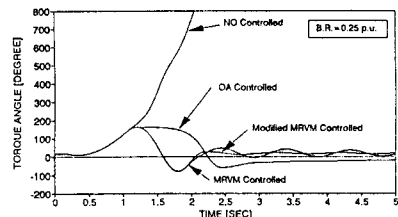


그림 5. 고장차단시간이 900ms인 3상고장에 대해서 여러가지 제어기법의 상차각 곡선

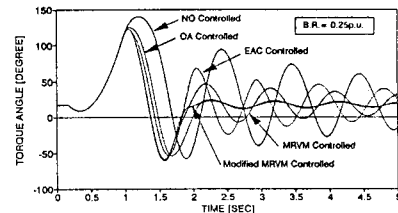


그림 6. 고장차단시간이 800ms인 3상고장에 대해서 여러가지 제어기법의 상차각 곡선

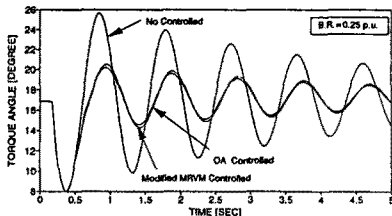


그림 7. 고장차단시간이 100ms인 3상고장에 대해서 여러가지 제어기법의 상차각 곡선

그림 5는 모델 전력계통의 고장차단시간이 임계제거시간인 870ms를 초과했을 때 각각의 제어기법을 적용한 결과의 상차각 곡선을 나타낸 것으로 제어되지 않은 경우의 발전기는 동기성을 잃어버리게 됨을 알 수 있고, 개선된 모델기준 제어기법이 종래의 동적제동 제어기법보다 빠른 감쇠진동을 나타내고 있다. 그림 6은 고장차단시간이 임계제거시간보다 작을 경우에 대해서 각각의 제어기법을 적용한 결과로써 제어되지 않은 경우는 아주 느린 감쇠진동을 보이며, 개선된 모델기준 제어기법은 종래의 동적제동 제어기법보다 빠르게 감쇠진동을 하여 안정한 평형상태로 수렴함을 알 수 있다. 그리고 그림 7은 고장차단시간이 100ms일때 각각의 제어기법을 적용하여 얻어진 결과로써 개선된 모델기준 제어기법이 가장 빠른 감쇠진동을 나타내고 있다.

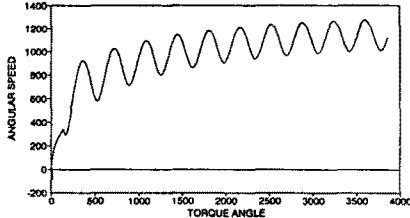
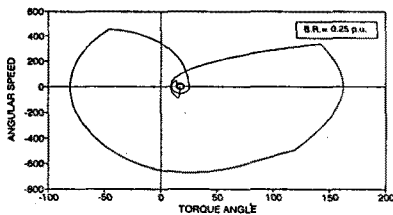
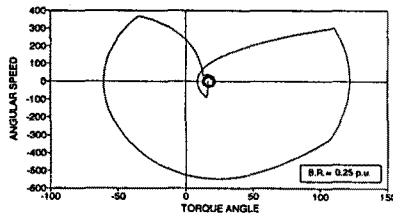


그림 8. 고장차단시간이 900ms인 3상고장에 대해서 제어되지 않은 경우의 위상평면 궤적

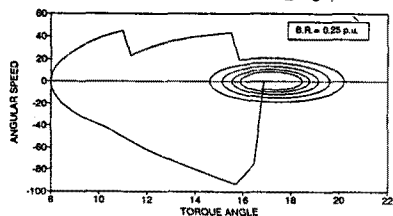
그림 8은 제어되지 않은 경우에 고장차단시간이 임계제거시간보다 크면 발전기는 동기성을 잃어버리게 됨을 나타낸다.



(a) 고장차단시간이 900ms인 경우



(b) 고장차단시간이 800ms인 경우



(c) 고장차단시간이 100ms인 경우

그림 9. 개선된 모델기준 제어기법의 3상고장에 대한 위상평면 궤적

그림 9의 (a), (b), (c)는 각각 개선된 모델기준 제어기법의 900ms, 800ms, 100ms 3상고장에 대해서 위상평면에서의 궤적으로 나타난 것이며, 고장차단시간이 짧을수록 더욱 빠르게 안정한 평형상태로 제어됨을 알 수 있고 궤적의 평형점을 둘러싸는 타원의 형태가 절대안정영역으로 제어가 금지되는 영역임을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문은 새로운 동적제동 제어기법의 알고리즘을 제시하여 과도안정도 향상에 기여할 수 있도록 시뮬레이션하였으며, 개선된 모델기준 제어기법의 적용결과를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- ① 대기 전력계통에서 심각한 외란이 발생했을 때 본 논문에서 제시한 개선된 모델기준 제어기법을 이용한 동적제동 제어는 종래의 다른 제어기법에 비해 고장난 시스템의 상태가 안정한 평형상태를 향하여 빠르게 수렴되어 전력계통의 과도안정도가 향상될 수 있음을 입증하였다.
- ② 절대안정영역을 설정하여 과도안정도를 판별하므로써 보다 빠르게 안정한 평형상태로 제어하였고, 절대안정영역의 내부에서는 동적제동 제어가 적용되지 않게하므로써 과도안정도 향상의 신뢰성을 더욱 개선하였다.
- ③ 디지털 릴레이 보호방식을 전력계통에 적용하여 구한 고장차단시간을 제시된 동적제동 제어기법에 시뮬레이션한 결과는 기존의 아날로그 계전기의 고장차단시간의 적용결과와 비교할때 고장차단시간이 짧을수록 과도안정도가 더욱 향상됨을 알 수 있었다.
- ④ 제시된 동적제동 제어기법은 발전기 회전자의 상차각과 각속도, 그리고 발전기의 전기적 출력을 이용하여 제어하기 때문에, 이런 입력변수를 실시간으로 측정하여 제시된 제어기법에 적용한다면 전력계통의 과도안정도 향상을 위한 실시간 제어가 가능함을 알 수 있었다.

## [참고문헌]

1. Mittelstadt, W. A., "Four Methods of Power System Damping," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No. 5, May 1968, pp. 1323-1327.
2. Croft, W. H., and Hartley, R. H., "Improving Transient Stability by Use of Dynamic Braking," AIEE Power Apparatus and Systems, No. 59, April 1962, pp. 17-26.
3. Rahimi, A., "Dynamic braking control of electrical power systems," IEEE PES Winter Meeting, 1978, New York, Paper A78 299-0
4. Sein, A., and Meisel, J., "Transient stability augmentation with a braking resistor using optimal aiming strategies," Proc. IEE, 1978, 125, pp. 1249-1255.
5. Thomas, R. J., Thorp, J. S. and Pottle, C., "A Model Referenced Controller for Stabilizing Large Transient Swing in Power Systems," to be published in IEEE Trans. on Automatic Control.
6. Luders, G. A., "Transient Stability of Multimachine Power systems via the Direct Method of Lyapunov," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Jan./Feb. 1971, pp. 23-36.
7. Yu, Y. N., and Moussa, H. A. M., "Experimental Determination of Exact Equivalent Circuit Parameters of Synchronous Machine," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Nov./Dec. 1971.