

최적 변조제어기를 이용한 전력시스템의 부하주파수 제어에 관한 연구

정 형 환* · 허 동 렬** · 정 문 규* · 주 석 민*** · 이 준 탁*

A Study on the Load Frequency Control of Power System Using an Optimal Modulation Controller

H-H Chung* · D-R Hur** · M-K Chung* · S-M Joo*** · J-T Lee*

Key words : Load frequency control(부하주파수제어), Optimal modulation control(최적변조 제어), Recursive algorithms(순환알고리즘), State weighting matrix(상태가중행렬), Power system(전력시스템)

Abstract

The load frequency control(LFC) of power system is one of important subjects in view of system operation and control. That is, even though the rapid load disturbances are applied to the given power system, the stable and reliable power should be supplied to the users, converging unconditionally and rapidly the frequency deviations and the tie-line power flow ones of each area into allowable boundary limits. Nonetheless of such needs, if the internal parameter perturbation and the sudden load variation are given, the unstable phenomena of power systems can be often brought out because of the large frequency deviation and the unsuppressible power line one.

So, an optimal modulation controller for LFC of multi-area power system is designed by a recursive algorithm that determines the state weighting matrix Q of a linear quadratic performance criterion. The optimal modulation controller is based on optimal control and can obtain the exact dynamic response of the LFC of multi-area power system in the time domain.

The performances of the resultant optimal modulation control, that is, the steady-state deviations of frequency and tie-line power flow and the related dynamics, were investigated and analyzed in detail by being applied to the LFC of multi-area power system in the perturbations of predetermined internal parameters. Through the simulation results tried variously in this paper for disturbance of stepwise load changes, the superiorities of the proposed optimal modulation controller in robustness and stability were proved.

* 동아대학교 공대 전기전자컴퓨터공학부

** 동아대학교 정보기술연구소

*** 창원대학교 메카트로닉스 공학부

1. 서 론

전력시스템의 연계계통에서 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 시간에 따른 시스템 상태의 변화, 사고에 대한 시스템구성의 변동 등 전력시스템의 다양한 상태변동에 대하여 전력수급의 균형을 조절하여 주파수 및 연계선 조류편차를 허용범위 이내로 유지하도록 하여야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서 전력시스템의 부하주파수제어는 시스템운용 및 제어에 있어서 주요한 과제 중의 하나이다. 그러나, 내부 파라미터나 부하의 급격한 변동 등에 기인한 외란 발생시 각 전력 시스템의 주파수 동요 및 조류 편차의 발생으로 계통의 불안정 현상이 빈발할 수 있다. 이를 효과적으로 제어하여 신속하게 전력 시스템의 안정화를 도모하려면 외란에 강인한 제어기 설계기법이 요구되고 있다.

이에 대한 연구로는 O. I. Elgerd와 C. E. Fosha[1-2]에 의해 부하주파수 제어계의 동특성 응답을 개선시키기 위하여 각 지역에 대한 지역주파수 응답 특성을 이용한 주파수 편의 연계선 전력 제어 기법과 현대의 최적제어 이론을 이용한 선형 레귤레이터의 설계기법을 제시한 이래 이에 관한 많은 논문이 발표되고 있다. 특히, F. D. Galiana[3]등은 계통의 외란이 클 경우에 있어서의 상태 추종제어 기법을 제시하였으며, R. P. Schulte[4]등은 시스템의 동작 제한에 대하여 연구되고 있다. 한편, 국내에서는 비례 제어기의 최적설계에 의해 부하주파수 제어기법과 지속적인 부하변화시 즉각적인 주파수 제어가 가능하도록 최적 선형 추적법을 도입한 바 있다[5-6].

이상의 논문에서 제어기법을 살펴보면, 시스템을 일반적인 선형계로 간주하고 있으며 제어 조작량을 결정하는데 복잡한 수식을 풀어야 할 뿐만 아니라, 상태가중치를 결정함에 있어 경험적인 방법이나 고유치 판별에 의한 가중치 조절 등이 어려움으로 작용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 전력시스템의 부하주파수 제어를 위하여 최적 변조제어기 적용에 관하여 연구하였다. 그리고 최적 변조제어기 입력신호를 선택함에 있어서 최적 제어이론을 이용하였으며, 상태 가중치를 결정하는 방법에서는 순환 알고리

즘을 이용하여 상태가중치를 체계적으로 선정하였다. 이를 다지역 전력 시스템의 부하주파수 제어에 적용하여 순환알고리즘에 의해 상태가중치를 체계적으로 선정한 최적 변조제어기를 적용한 경우와 Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기를 적용한 경우와 비교·고찰하였다.

또한 제안한 방법의 강인성을 입증하기 위하여 1지역에 부하외란이 지속적으로 발생한 경우, 2지역에 부하외란이 지속적으로 발생한 경우 및 1지역과 2지역 동시에 부하외란이 지속적으로 발생한 경우에 대하여 시스템 고유치 판별에 의하여 안정도 해석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 동특성 응답을 비교·고찰하였다.

2. 부하주파수 제어 모델 및 계통 방정식

다수의 제어 지역이 상호 연계된 전력 계통의 효율적인 주파수 제어 대책을 검토하기 위하여 C. E. Fosha 등이 제안한 모델 계통을 주로 사용한다. 이는 Fosha 등이 선형 모델화하여 연구한 이래 다지역 전력 계통의 부하주파수제어에 대한 연구 모델로 많이 이용되고 있다[2, 8-13].

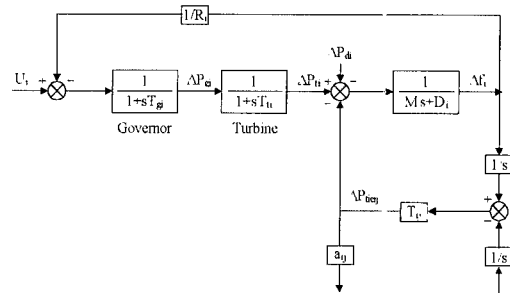


Fig. 1 Block-diagram of multi-area power system

본 논문에서 사용한 모델 계통은 Fig. 1과 같으며, 계통 정수는 Table 1과 같다. 이 시스템의 각 계통 용량 $P_{ri}=P_{rj}=2,000[MW]$ 이고, 연계선 용량 $P_{tiemax}=200[MW]$ (10%)이며, 지역간 전압 위상차의 평형치 $\delta^*_i (= \delta^*_i - \delta^*_j) = 30 [deg]$, 계통용량비 $a_{ij} = -P_{rj}/P_{ri} = -1$ 이다.

Table 1 System parameters

T_{gi}	= 0.08 [s]
T_{ti}	= 0.3 [s]
D_i	= 0.00823 [p.u.MW/Hz]
M_i	= 0.1667 [p.u.MW.s/Hz]
R_i	= 2.4 [Hz/p.u.MW]
T_{ij}	= 0.545 [p.u.MW/Hz]
P_{tiemax}	= 0.1 [p.u.MW]
P_{ri}	= 2000 [MW]
δ_{ij}^*	= 30 [deg]
a_{ij}	= $-P_{rj}/P_{ri} = -1$

그림 1을 기초로 한 i 지역 계통의 선형 모델 상태 방정식은 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \mathbf{X}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}\mathbf{U}(t) + \Gamma \Delta P_d \\ \mathbf{Y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{X}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

이다. 이때 \mathbf{A} 는 상태 계수 행렬, \mathbf{B} 는 제어 계수 행렬이고, Γ 는 외란 구동행렬을 나타낸다. i 지역에 대한 상태 변수는 식(2)와 같이 표현 된다.

$$\mathbf{X}(t) = [\int \Delta P_{tiej} dt \quad \int \Delta f_i dt \quad \Delta f_i \quad \Delta P_{ti} \quad \Delta P_{gi}]^T \quad (2)$$

3. 최적 변조제어기

3.1 순환알고리즘

전력계통의 선형 최적 제어에서 제어 가능하며 관측 가능한 외란 없는 시스템의 상태방정식은 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U} \quad (3)$$

- 단, \mathbf{A} : 상태계수 행렬($n \times n$)
- \mathbf{B} : 제어 계수 행렬($n \times m$)
- \mathbf{X} : 상태벡터($n \times 1$)
- \mathbf{U} : 제어벡터($m \times 1$)

먼저, 2차 형식의 평가함수를 식(4)로 정의한다.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [\mathbf{X}^T \mathbf{Q}\mathbf{X} + \mathbf{U}^T \mathbf{R}\mathbf{U}] dt \quad (4)$$

단, \mathbf{Q} : 상태가중치 행렬($n \times n$)

\mathbf{R} : 제어가중치 행렬($m \times m$)

식(4)를 최소로 하는 최적 제어입력은 식(5)와 같이 얻어지며 이는 선형 상태공간에서만 취급한다.

$$\mathbf{U} = -\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{K}\mathbf{X} \quad (5)$$

최적 제어법칙 \mathbf{K} 는 식(6)과 같이 대수 Riccati 방정식으로 구해진다.

$$\mathbf{K}\mathbf{A} + \mathbf{A}^T \mathbf{K} - \mathbf{K}\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{K} + \mathbf{Q} = 0 \quad (6)$$

단, \mathbf{K} =[constant matrix]

상태가중치 \mathbf{Q} 를 결정하는 순환 알고리즘은 최적 제어이론을 바탕으로 하고 있다. 우선, 상태 행렬의 초기값과 상태 가중치 행렬의 초기값은 식(7)과 같이 선택한다.

$$\mathbf{A}_0 = \mathbf{A}, \mathbf{Q}_0 = \mathbf{Q} \quad (7)$$

순환알고리즘을 적용하기 위하여 Hamilton 행렬 행태로 표현하면 식(8)과 같다.

$$[\mathbf{M}_{i-1}] = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T \\ -\mathbf{Q}_{i-1} & -\mathbf{A}^T \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서, \mathbf{M}_{i-1} 은 n 차 시스템의 $2n \times 2n$ 행렬이고, 복소평면 위에 이 행렬의 고유치는 대칭적이어서 실수축과 허수축으로 나눌 수 있다.

\mathbf{M}_{i-1} 의 고유벡터 방정식은 식(9)와 같다.

$$[\mathbf{M}_{i-1}] [\mathbf{V}] = [\mathbf{V}] [\mathbf{A}] \quad (9)$$

여기서 $[\mathbf{A}]$ 는 $2n$ 요소를 갖는 대각 고유치 행렬, $[\mathbf{V}]$ 는 $2n \times 2n$ 요소를 갖는 고유벡터 행렬이다.

\mathbf{M}_{i-1} 에 해당하는 $2n$ 개 고유치들을 대각 행렬로 쓰면 식(10)과 같고, 고유벡터 행렬을 $n \times n$ 행렬로 분할하면 식(11)과 같다.

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} \Lambda_- & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Lambda_+ \end{bmatrix}, [\mathbf{A}] = -[\mathbf{A}_+] \quad (10)$$

$$[V] = \begin{bmatrix} V_I & V_{II} \\ V_{III} & V_{IV} \end{bmatrix} \quad (8)$$

식(11)로부터 식(6)의 Riccati 행렬 K 의 해는 식(12)와 같다.

$$K = V_I V_I^{-1} \quad (12)$$

본 논문에서는 상태 가중치를 결정하기 위하여 복잡한 수식을 간소화 할 수 있고, 계산시간을 단축할 수 있도록 안정화 계수 p_s 를 도입하여 식(13)과 같이 표현하였다.

$$Q_i = Q_{i-1} - 2p_s K \quad (13)$$

여기서, $0 < p_s < 1$ 이다.

결정된 상태 가중치 Q_i 를 이용하여 식(14)의 대수 Riccati 방정식의 안정화 해 K_s 를 결정하고, 식(15)의 최적 제어 시스템 방정식을 계산한다.

$$AK_s + K_s A^T - K_s B R^{-1} B^T K_s + Q_i = 0 \quad (14)$$

$$A_F = A - B R^{-1} B^T K_s \quad (15)$$

상태 가중치를 결정하기 위한 순환 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

단계 1 : 상태 행렬 A 와 상태 가중치행렬 Q 의 초기값을 설정한다.

단계 2 : 안정계수 p_s 를 결정하고 식(13)의 상태 가중치 Q_i 를 결정한다.

단계 3 : 식(14)의 대수 Riccati 방정식의 안정화 해 K_s 를 구한다.

단계 4 : 식(15)의 폐루프 시스템 방정식 A_F 를 구한다.

단계 5 : A_F 의 고유치를 계산한다.

단계 6 : 고유치가 개선되었는지를 확인하고 단계 2로 돌아가서 반복 수행한다.

3.2 최적 변조제어

최적변조제어기는 저주파수 진동현상, 경부하 심야운전중의 전압상승, 특히 전력시스템의 전력전송 용량증가로 인한 시스템의 일정한 주파수 변

동에 대하여 필요한 제어방법이다.

시스템에 외란이 발생하였을 경우, 시스템은 불안정 현상을 나타낼 경우 안정화 시킬수 있는 최적 변조제어 신호가 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 전력시스템의 주파수제어를 위한 최적 변조제어 신호를 입력으로 하는 시스템을 구성하였다. 또한 순환 알고리즘에 의해서 상태 가중치 행렬을 결정한 후 궤환 행렬을 구하여 입력신호를 선택하였다. 따라서 변조제어 입력신호는 식(16)과 같이 구할 수 있다.

$$U_i = K_{fi} \Delta f_i + K_{p_{tieij}} \Delta P_{tieij} \quad (16)$$

여기서, K_{fi} , $K_{p_{tieij}}$ 는 이득행렬이다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

전력 시스템의 부하주파수 제어를 위하여 최적 제어 이론을 바탕으로 한 최적 변조제어기 적용에 관하여 연구하였다. 최적 변조제어기의 입력신호로는 순환알고리즘을 이용하여 상태가중치를 체계적으로 선정하였으며, 식(16)과 같이 선정하였다.

전력 시스템의 부하주파수 제어에 있어서 최적 변조제어기 적용 타당성을 입증하기 위하여 최적 변조제어한 경우(Proposed), Ziegler-Nichols(ZN)의 PID 제어기에 대하여 시스템의 고유치 판별에 의한 안정도를 해석하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 부하주파수 제어에 대한 동특성을 고찰하였다. ZN에 의한 PID 파라메타는 $K_p=2.072$, $K_i=3.390$, $K_d=0.316$ 이다. 또한 상태 방정식 및 대수 고차 방정식 풀이에 대한 프로그램으로는 IMSL의 IVPRK와 ZPLRC등을 이용하였다.

제어기 적용의 강인성을 고찰하기 위하여 부하외란으로 1지역에서 부하외란 $\Delta P_{d1}=0.01[p.u.]$ 가 지속적으로 발생하였을 경우(사례연구 1), 2지역에서 부하외란 $\Delta P_{d2}=0.03[p.u.]$ 가 지속적으로 발생하였을 경우(사례연구 2), 1지역에서 부하외란 $\Delta P_{d1}=0.03[p.u.]$, $\Delta P_{d2}=0.01[p.u.]$ 가 동시에 지속적으로 발생하였을 경우(사례연구 3)에 대하여 제어기를 적용하였다.

고유진동 모드의 고유치 $\sigma \pm j\omega$ 및 제동 비는 표

2와 같으며, 진동모드의 제동 비(Damping ratio) 계산식은 (17)과 같다. 또한 각 제어기 적용시의 주요진동 모드의 고유치는 그림 2와 같다.

Table 2 Eigenvalues of oscillation modes

Control Method	Eigenvalues	Damping ratio[%]
Proposed	-4.5924±j0.2884	99.80
PID	-2.2743±j2.4151	68.56
Open loop system	-0.6152±j3.2405	18.65

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sigma^2 + \omega^2} \times 100[\%] \quad (17)$$

표 2에서와 같이 제안한 제어 기법의 고유 진동 모드에 대한 제동 비가 99.8[%]로 PID 제어기의 고유 진동모드에 대한 제동 비 68.56[%] 및 Open loop system에 대한 제동비 18.65[%]보다 아주 우수하게 나타났으며, 또한 그림 2에서와 같이 시스템 고유치가 제안한 방법에서 상당히 개선되어짐을 알 수 있었다.

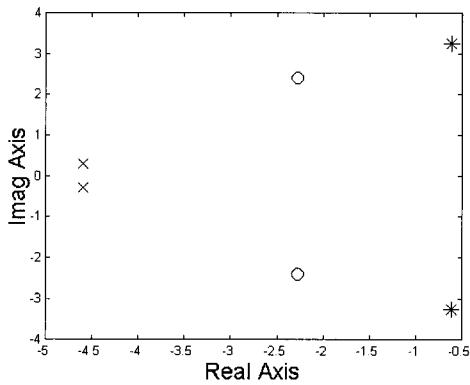


Fig. 2 System eigenvalues
(× →Proposed, ○→PID, *→Open loop system)

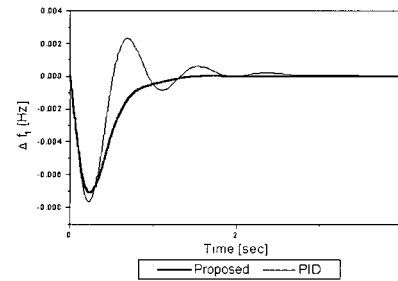
4. 1 사례연구 1

첫 번째 사례연구로는 1지역에서 부하외란 $\Delta P_{d1}=0.01[p.u.]$ 가 지속적으로 발생하였을 경우로 하였다. 이에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로 응답특성을 그림 3과 같이 본 논문에서 제안한 방법 (Proposed)과 Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기를 비교하였다. 1지역과 2지역에 대한 주파수 편차와 연계선 조류편차의 응답 특성을 나타내

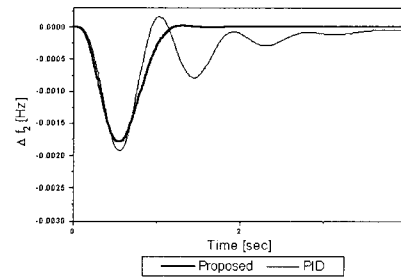
고 있다. 그림 3에서 (a)의 1지역에 대한 주파수의 최대 편차량을 비교해 보면 제안한 기법에서 수렴 시간이 약 1.4[sec]이고, PID 제어기 적용시는 2.6[sec]로 제안한 기법이 우수함을 보였다. 그림 3에서 (b)는 2지역의 주파수 편차량을 나타낸 것으로 역시 제안한 기법이 PID 제어기 보다 우수한

Table 3 Performance indices

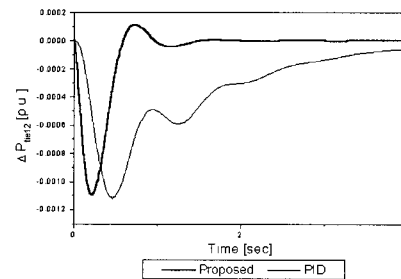
Performance indices	Control Method		Damping ratio[%]
	Proposed	PID	
J	0.018385	0.00192778	4.63



(a) Δf_1



(b) Δf_2



(c) ΔP_{tie12}

Fig. 3 System dynamic response

특성을 얻었다. 그림 3에서 (c)는 연계선 조류 편차량의 응답 특성을 나타낸 것으로 역시 제안한 기법이 PID 제어기보다 응답특성이 우수하였으며 수렴시간 및 정정시간을 크게 줄일 수 있었다.

이상과 같이 본 논문에서 제안한 최적 변조제어를 적용한 경우(Proposed)가 Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기보다 응답특성이 우수함을 알 수 있었다. 이에 대한 제어기 성능을 평가하기 위한 평가함수로는 식(18)과 같이 두었으며, 표 3과 같다.

$$J = \int (\Delta f_1^2 + \Delta f_2^2 + \gamma \Delta P_{tie12}^2) dt \quad (18)$$

여기서, $\gamma=3.0$ 이다.

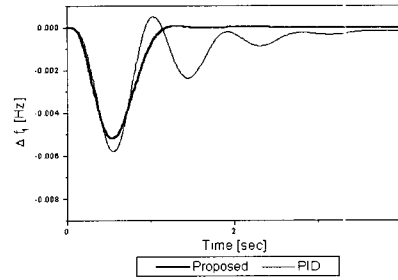
4.2 사례연구 2

두 번째 사례연구로는 2지역에서 부하의란 $\Delta P_{d2}=0.03$ [p.u.]가 지속적으로 발생하였을 경우로 하였다. 이에 대한 비교 대상의 제어기법은 사례연구 1에서와 같이 본 논문에서 제안한 기법(Proposed)과 Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기로 하였다. 그림 4는 1지역과 2지역에 대한 주파수 편차와 연계선 조류편차의 응답 특성을 나타내고 있다. 그림 4에서 (a)의 1지역에 대한 주파수의 최대 편차량을 비교해 보면 제안한 기법의 수렴시간이 1.55[sec]로 PID 제어기 적용시(4[sec] 이후) 보다 아주 우수함을 알 수 있었다. 그림 4에서 (b)는 2지역의 주파수 편차량을 나타낸 것으로 역시 제안한 기법이 PID 제어기 적용시 보다 수렴시간을 크게 단축할 수 있었다. 그림 4에서 (c)는 연계선 조류 편차량의 응답 특성을 나타낸 것으로 역시 제안한 기법이 PID 제어기 적용시 보다 응답특성이 우수하였으며 수렴시간 및 정정시간을 크게 줄일 수 있었다.

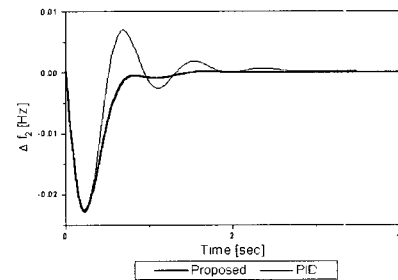
이상과 같이 본 논문에서 제안한 최적 변조제어를 적용한 경우(Proposed)가 Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기보다 응답특성이 우수하였다. 또한 이에 대한 제어기 성능을 평가하기 위한 평가지수에서는 표 4와 같이 34.98%를 감소시켰다.

Table 4 Performance indices

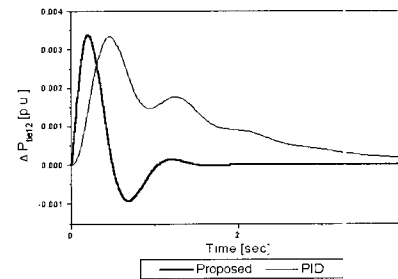
Performance indices	Control Method		Damping ratio[%]
	Proposed	PID	
J	0.01634812	0.01735002	5.25



(a) Δf_1



(b) Δf_2



(c) ΔP_{tie12}

Fig. 4 System dynamic response

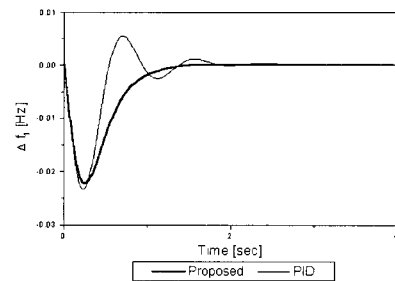
4.3 사례연구 3

세 번째 사례연구로는 1지역에서 부하의란 $\Delta P_{d1}=0.03$ [p.u.], $\Delta P_{d2}=0.01$ [p.u.]가 동시에 지속적으로 발생하였을 경우로 하였다. 이에 대한 비교 대상의 제어기법은 사례연구 1에서와 같이 순환알

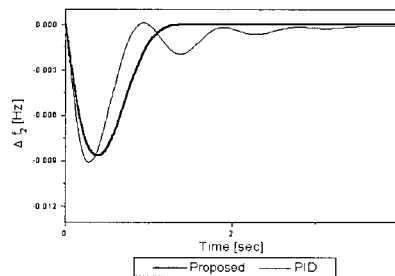
고리즘에 의한 상태가중치를 체계적으로 선정
한 최적 변조제어기를 적용한 경우(Proposed)와
Ziegler-Nichols에 의해 구한 PID 제어기로 하였
다. 역시 사례연구 1, 2에서와 같이 시스템의 응답
특성에서 제안한 기법의 우수성을 입증하였다.

Table 5 Performance indices

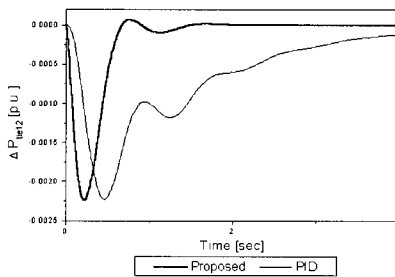
Performance indices	Control Method		Damping ratio[%]
	Proposed	PID	
J	0.01546712	0.01830513	15.50



(a) Δf_1



(b) Δf_2



(c) ΔP_{tie12}

Fig. 5 System dynamic response

6. 결 론

부하주파수제어는 계통운용 및 제어에 있어서
주요한 과제중의 하나이며 발생하는 부하변동에
대해서 각 지역내의 주파수 및 연계선 조류편차를
허용치 내로 수렴시키기 위해서 계통 내에 있는 발
전소의 출력을 조정해야 한다. 전력시스템에서 기
본적으로 요구되는 사항은 발전전력 출력량과 그
품질에 대한 소비자의 욕구를 지속적으로 만족시
키기 위해 양질의 전력을 공급해야 한다.

따라서 본 논문에서는 최적 변조제어기를 이용
하여 전력시스템의 부하변동에 대하여 각 지역내
의 주파수 및 연계선 조류편차를 최소로 조정하였
다. 최적 변조제어기 설계는 최적 제어이론을 이용
하였으며, 상태 가중치 설정에서는 순환 알고리즘
을 이용하여 체계적으로 선정하였다. 순환 알고리
즘은 복잡한 수식을 간소화 할 수 있었고, 계산과
정에 있어 반복 횟수를 최소화 할 수 있었다. 또한
제안한 방법을 1지역, 2지역 및 1지역과 2지역 동
시에 부하변동이 있는 경우에 대하여 고전적인 제
어기법인 PID 제어기를 적용한 경우와 동특성, 시
스템 고유치 및 고유진동 모드의 제동 비를 비교
· 고찰하여 제안한 방법의 우수성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] O. I. Elgerd and C. E. Fosha, "Optimum megawatt-frequency control of multiarea electric energy systems", IEEE Trans. on PAS, Vol. 80, No. 4, pp. 556-563, 1970.
- [2] C. E. Fosha and O. I. Elgerd, "The megawatt-frequency control problem : a new approach via optimal control theory", IEEE Trans. on PAS, Vol. 80, No. 4, pp. 564-577, 1970.
- [3] F. D. Galiana and H. Glavitsch, "State adaption in power systems control", IEEE Trans. on PAS, Vol. 92, pp. 1670-1678, 1973.
- [4] R. P. Schulte and D. E. Badley, "Problems associated with generator load following in system operation", IEEE Trans. on PAS, Vol. 102, No. 6, pp. 1566-1569, 1983.
- [5] 장세훈, 임화영, "주파수 제어를 위한 비례 제어기의

- 최적 설계에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol. 26, No. 2, pp. 99-103, 1977.
- [6] 김훈기, 광노홍, 문영현, "최적선형 추적법에 의한 부하 주파수 제어", 대한전기학회논문지, Vol. 38, No. 2, pp. 83-92, 1989.
- [7] C. E. Grund, R. V. Pohl and J. Reeve, "Control design of active and reactive power HVDC modulation system with kalman filtering", IEEE Trans. on PAS, Vol. 101, No. 10, pp. 4100-4111, 1982.
- [8] 정형환, 왕용필, 허동렬, 김해재, "교류-직류 계통의 안정화를 위한 최적 변조제어기의 적용", 대한전기학회논문지, Vol. 47, No. 12, pp. 2057-2063, 1998.
- [9] Allen. J. Wood and Bruce F. Wollenberg, "Power generation, operation and control", John Wiley & Sons, 1984.
- [10] Y. Wang, R. Zhou and C. Wen, "Robust load-frequency controller design for power systems", IEE Proceedings, Vol. 140, No. 1, pp. 11-16, 1993.
- [11] P. Kundur, "Power system stability and control", McGraw Hill, Inc., 1994.
- [12] K. Y. Lim, Y. Wang and R. Zhou, "Robust decentralised load frequency control of multi-area power systems", IEE Proceedings, Vol. 143, No. 5, pp. 377-386, 1996.
- [13] A. M. Stankovic, G. Tadmor and T. A. Sakharuk, "On Robust Control Analysis and Design for Load Frequency Regulation", IEEE Trans. Power. Syst., Vol. 13, No. 2, pp. 449-455, 1998.

저 자 소 개



정형환(鄭亨煥)

1941년 1월 19일 생. 1963년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 당학회 정회원



허동렬(許東烈)

1969년 11월 10일 생. 1995년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 정보기술연구소 특별연구원. 당학회 정회원



정문규(鄭文圭)

1971년 11월 16일 생. 1998년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 당학회 회원



주석민(朱碩珉)

1965년 5월 11일 생. 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 창원대 메카트로닉스 공학부 BK21 교수. 당학회 정회원



이준탁(李浚托)

1956년 11월 21일 생. 1979년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997년 8월~1998년 2월 일본 쓰쿠바대학교 객원 연구원. 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 당학회 회원