

유전 알고리즘을 이용한 전력계통의 부하주파수 제어를 위한 퍼지 전 보상 PID 제어기 설계

정문규\* · 왕웅필 · 이정필 · 정형환  
 동아대학교 전기공학과

A Design of Fuzzy Precompensated PID Controller for Load Frequency Control of Power System using Genetic Algorithm

Mun-Kyu Chung · Yong-Peel Wang · Jeong-Phil Lee · Hyeng-Hwan Chung  
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University

**Abstract** - In this paper, we design a GA-fuzzy precompensated PID controller for the load frequency control of two-area interconnected power system. Here, a fuzzy precompensated PID controller is designed as a fuzzy logic-based precompensation approach for PID controller. This scheme is easily implemented simply by adding a fuzzy precompensator to an existing PID controller. And we optimize the fuzzy precompensator with a genetic algorithm for complements the demerit such as the difficulty of the component selection of fuzzy controller, namely, scaling factor, membership function and control rules.

1. 서 론

전력계통의 부하주파수 제어(Load Frequency Control : LFC)에 대한 최초의 연구는 C. E. Fosha 등 [1]에 의해 부하주파수 제어계의 동특성 응답을 개선시키기 위하여 이루어졌다. 이들이 각 지역에 대한 지역주파수 응답특성을 이용한 주파수 편의 연계선 전력제어기법과 최적제어이론을 이용한 선형 레귤레이터의 설계기법을 제시한 이래 현재까지 LFC에 관한 많은 논문이 발표되고 있다.

한편 PID 제어기와 퍼지 제어기의 장점을 이용하여 설계된 하이브리드형 제어기들에 관한 연구가 진행중에 있다. 이에 대한 연구로는 S. G. Tzafestas 등[4]이 2차 시스템에 적용시켜 응답특성을 검증한 이후 활발한 연구가 이루어져 오고 있다. C. L. Chen 등[5]은 Lyapunov 함수를 추가하여 안정한 제어가 가능하도록 퍼지 제어기와 PID 제어기를 결합한 하이브리드 제어기를 설계하였으며, T. Brenm 등[6]은 PI형 퍼지 제어기와 PD형 퍼지 제어기를 결합한 형태로 제어기를 구성하였다. 또 S. Z. He 등[7]은 PID 제어기를 위한 자기동조 설계에 퍼지추론을 이용하였으며, Kim 등[10]은 퍼지 전 보상 PID 제어기(fuzzy precompensated PID controller)를 제안하였다. 이들의 제어원리와 구조적인 차이에도 불구하고, 모두 퍼지 제어기의 각 구성요소를 최적화하는 과정이 문제점으로 남게 되었다. 이러한 문제의 해결책으로 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하였다.[12-13].

따라서 본 논문에서는 2지역으로 연계된 전력계통의 주파수 및 연계선 조류 편차량을 허용치 이내로 수렴시키기 위해 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 전 보상 PID 제어기를 설계하고자 한다. 이에 대한 실험으로 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 전 보상 PID 제어기가 종래의 Ziegler-Nichols 동조법에 의한 PID[9] 및 시행착오법에 의한 퍼지 전 보상 PID 제어기[10]보다 전력계통의 다양한 부하의란에 대해 속응성이 우수하며, 주파수 최대 편차량과 연계선 조류 편차량의 경감 및 정정시간을 최소화시킬 수 있음을 보이고자 한다.

2. 부하주파수 제어 모델계통

다수의 제어지역이 상호 연계된 전력계통의 효율적인 주파수 제어대책을 검토하기 위하여 C. E. Fosha 등이 제안한 2지역 모델계통을 주로 사용한다. 이는 C. E. Fosha 등이 9차계로 선형 모델화하여 연구한 이래 다지역 전력계통의 부하주파수 제어에 대한 연구모델로 많이 이용되고 있다. 본 논문에서 사용한 모델계통은 그림 1과 같다.

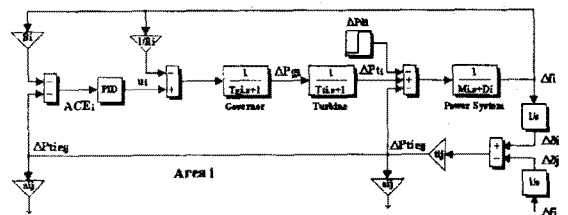


그림 1. i 지역으로 연계된 전력계통의 블록선도 (i=2)

3. 퍼지 전 보상 PID 제어

S. G. Tzafestas 등이 퍼지와 PID 제어기를 시스템에 적용시킨 이래로 이에 대한 많은 연구가 있었다 [3-11]. 그 중 PID 제어기를 위한 여러 가지 동조방식에 관한 연구가 있었는데, 대표적으로 이득 변경 [3,7,11]과 기준점 변경 [2,8-10]의 두 가지로 분류할 수 있다.

PID 제어기와 퍼지 제어기를 병렬로 사용하는 구조는 이득 변경의 경우로 볼 수 있는데, 이러한 병렬 구조는 조건적으로 제어기의 출력을 계산하게 되는데 식(1)과 같다.

$$u(k) = K_{pe}(k) + TK_1 \sum_{n=0}^k e(n) + \frac{K_D}{T} \Delta e(k), \text{ if } (e, \Delta e) \in R$$

$$G(e, \Delta e) \text{ otherwise} \quad (1)$$

여기서, R은 (e, Δe)공간에서의 영역이다. 이 설계에서, 식 (1)의 G로 표현되는 퍼지 제어기의 미세 동조는 PID 제어기로 대체되게 된다. 이 병렬 구조는 정상 상태 응답동안에는 PID 제어기의 정확성을 가지며, 과도 상태 응답동안에는 퍼지 제어기의 신속성을 효과적으로 결합시킬 수 있다. 이 구조의 중점 설계 목표는 동특성 성능을 최적화하기 위해 R을 발견하는 것이다. 일반적으로 이득 변경은 식(2)와 같이 표현될 수 있다.

$$K_p' = K_p + G_p(e, \Delta e)$$

$$K_i' = K_i + G_i(e, \Delta e) \quad (2)$$

$$K_D' = K_D + G_D(e, \Delta e)$$

여기서, G<sub>p</sub>, G<sub>i</sub>와 G<sub>D</sub>는 비선형 함수이다. R. Babuska 등[11]은 세 개의 비선형 함수를 충족시키기 위해 3개의 퍼지 제어기를 사용하는 방식을 제안하였다. 이 설계 기법은 PID 제어기의 퍼지 감독이라고 한다. 반면에 S.

Z. He 등[7]은 이득 변경을 위해 단지 하나의 퍼지 제어기를 사용하는 또 다른 형태의 퍼지 감독 기법을 발표하였다. 그들의 제충적인 접근에서 퍼지 제어기는 제어 대상의 출력을 평가하고, 보상된 이득을 발생시키기 위해 미리 기술된 과정으로부터 가능한 편차를 검출하였다.

PID 제어기를 향상시키기 위한 또 다른 방법은 기준점을 변경하는 것이다. 여기서, 기준점 변경은 식(3)과 같이 새로운 오차항을 도입한다.

$$\begin{aligned} e_p &= y_r(k) \cdot F_p(e, \Delta e) - y(k) \\ e_i &= y_r(k) \cdot F_i(e, \Delta e) - y(k) \\ e_d &= y_r(k) \cdot F_d(e, \Delta e) - y(k) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $\cdot$ 는 곱 혹은 합 연산자이고,  $F_p$ ,  $F_i$ 와  $F_d$ 는  $e$ 와  $\Delta e$ 의 비선형 함수들이며, 그 제어 입력은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} u(k) &= K_p e_p(k) + TK_I \sum_{n=0}^k e_i(n) \\ &\quad + \frac{K_D}{T} (e_p(k) - e_p(k-1)) \end{aligned} \quad (4)$$

이것과는 달리, 비례항의 기준점만을 변경하는 경우가 있을 수 있는데,  $F_p = \beta$ ,  $F_i = F_d = 1$ 과 같이 나타낼 수 있다.  $\cdot = \times$ 이라고 하면 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} u(k) &= K_p (\beta y_r(k) - y(k)) + TK_I \sum_{n=0}^k e(n) \\ &\quad + \frac{K_D}{T} (e(k) - e(k-1)) \end{aligned} \quad (5)$$

이것은, T. Hagglund 등[8]에 의해 제안된 기준점 가중치 설계로 잘 알려져 있다. 또, 그 이후에 C. C. Hang 등[9]이 정규화된 플랜트 이득과 불감시간의 값에 기초로 해서  $\beta$ 를 결정하는 방법을 연구하였다. 최근에는 Kim 등[10]이 기준점을 변경하기 위해 더 일반적인 구조를 제안하였는데, 그들의 설계에서는 동일한 비선형 함수를 사용하였다. 즉,  $F_p = F_i = F_d = F$ 이고 새로운 기준점을 가지게 되는데, 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} u(k) &= K_p e'(k) + TK_I \sum_{n=0}^k e'(n) \\ &\quad + \frac{K_D}{T} (e'(k) - e'(k-1)) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $e'(k) = y_r(k) + F(e, \Delta e) - y(k)$ 이다. 이것은 비선형 함수  $F$ 를 만족하도록 퍼지 제어기를 사용하고 있기 때문에 퍼지 전 보상 PID 제어기라 하며, 기본적인 구조는 그림 2와 같다.

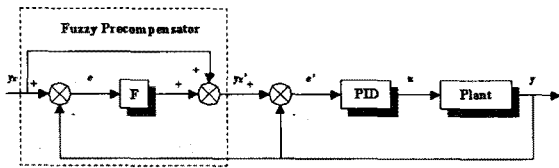


그림 2. 퍼지 전 보상 PID 제어기의 일반적인 구조

이상과 같이 퍼지 제어기는 PID 제어기의 성능을 향상시킬 수 있으며, PID 제어기와 퍼지논리 기법들을 결합하는 많은 접근들이 있었다. 이러한 퍼지 PID 제어 구조는 기준점 변경이나 또는 이득변경을 통해서 PID 제어기를 자동동조 할 수 있다. 그러나 이러한 접근들의 거의 대부분은 퍼지 제어기의 구성요소 선정에 있어 시행착오법에 의지해야만 한다는 것이다. 이러한 방법에 의한 퍼지 제어기 설계는 영역에 대한 지식을 요구하며, 또 이러한 지식을 이용한다 할지라도, 퍼지 제어기의 미세 동조는 많은 시간과 노력을 필요로 하게 된다.

#### 4. 유전 알고리즘에 의한 퍼지 전 보상 PID 제어기의 자동 규칙 발생

1970년 John Holland는 집단이 가진 염색체가 세대에 따라 그들이 처한 환경에 대하여 생존과 번식의 적합한 활동을 위한 자연선택 때문에 진화된다는 다윈의 진화이론을 토대로 한 자연의 유전원리를 모방하여 유전 알고리즘을 도입하기 시작했다. 이 유전 알고리즘은 최근 최적화 문제를 해결하는데 적용되고 있으며 해를 구하는 방법에서 강인한 탐색방법으로 알려져 있다[12-13].

전력계통의 부하주파수 제어를 위해 본 논문에서 제안하는 GA-퍼지 전 보상 PID 제어기의 블록선도는 그림 3과 같다. 여기서, 퍼지 전 보상기의 각 구성요소를 시행착오법이 아닌 자동으로 최적화하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다. 이에 대한 흐름도는 그림 4와 같다.

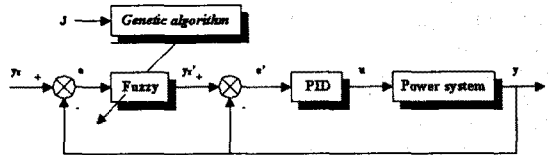


그림 3. 제안된 GA-퍼지 전 보상 PID 제어기

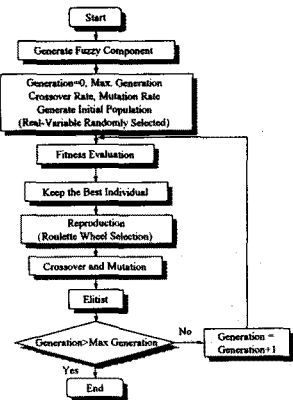


그림 4. GA에 의한 퍼지 구성요소의 자동동조

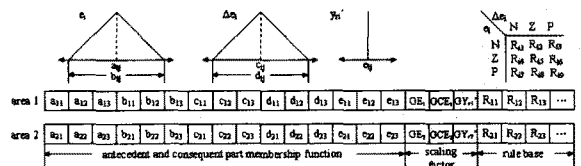


그림 5. 제안된 염색체 구조

여기서, 최적화하고자 하는 퍼지 전 보상기의 구성요소는 스케일링 계수, 멤버쉽함수, 제어규칙이다. 그림 5는 퍼지 전 보상기의 각 구성요소를 최적화하기 위한 염색체 구조이다. 본 논문에서 제안한 염색체는 실수 스트링을 사용하여 표현하였다. 염색체의 길이는 다음과 같다. 퍼지 전 보상기의 입력력인  $e$ ,  $\Delta e$ 와  $y_r$ 에 대해 스케일링 계수는 각각 GE, GCE와 GYr'로서 3개, 멤버쉽함수는 전건부의 경우 퍼지 전 보상기의 입력력  $e$ 와  $\Delta e$ 에 대해 입력 분할 수가 Negative, Zero, Positive이고, 각 멤버쉽함수를 표현하는데 필요한 변수는 Center와 Width이므로 전건부 스트링의 총 길이는  $2 \times 3 \times 2 = 12$ 개가 된다. 또 후건부의 경우 퍼지 전 보상기의 출력력  $y_r$ 에 대해 입력 분할 수가 역시 Negative, Zero, Positive이고, 필요한 변수는 Center이므로 후건부 스트링의 총 길이는  $1 \times 3 \times 1 = 3$ 개가 된다. 그러므로 전건부와 후건부의 멤버쉽함수 최적화를 위한 스트링의 총 길이는 15개이며, 마지막으로 제어규칙의 스트링 길이

는 9개이다. 그러므로 각 구성요소에 대한 총 스트링 길이는 27개이다. 이를 전력계통의 1지역과 2지역에 대해 고려하면 모두 54개가 되며, 각 염색체의 구성은 그림 5와 같다. 그림 5에서 전진부의  $e$ 에 대한 멤버쉽함수의 중심점  $a$ , 폭  $b$ 와  $\Delta e$ 에 대한 멤버쉽함수의 중심점  $c$ , 폭  $d$ 가 차례로 염색체로 구성되며, 이어서 후진부 파라미터인  $e$ 가 배치된다. 그 다음에는 스케일링 계수에 대한 변수가 염색체로 구성되며, 마지막으로 제어규칙이 염색체로 구성된다. 이렇게 구성된 염색체는 하나의 긴 염색체를 구성하며 이 염색체를 사용하여 유전 알고리즘이 수행된다. 새롭게 생성된 개체들도 모두 같은 구조를 따르며, 각 개체를 평가할 때에는 퍼지 전 보상기의 구성요소를 추출하고 추출된 구성요소에 의한 퍼지 전 보상기를 이용하여 평가하게 된다. 각 개체의 적합도를 평가하는 적합도 함수는 보통 풀고자하는 최적화 문제의 목적함수나 다른 주관적 평가함수에 의해 결정된다. 일반적으로 퍼지 전 보상기의 최적화는 평가함수값을 최소화시키는 퍼지 전 보상기의 구성요소를 찾아내는 것이다. 따라서 본 논문에서 사용된 평가함수는 식(7)과 같고, 적합도 함수는 식(8)과 같이 정의하였다.

$$J = \int_0^{t_1} (|\Delta I_{d1}| + |\Delta I_{d2}| + |\Delta P_{tie2}| + \omega(|u_1| + |u_2|)) dt \quad (7)$$

$$\text{Fitness}(J) = \frac{1}{1 + \min J} \quad (8)$$

식(14)에서  $t_1$ 은 적분시간이며,  $\omega$ 는 가중치이다. 식(15)는 퍼지 전 보상기가 기준신호에 빨리 도달하고 정상상태 오차가 최소가 될 때, 적합도 함수가 최대의 값을 갖는다. 이렇게 정의되어진 적합도 함수는 각 개체가 다음 세대에 생존할 가능성의 척도가 되며 이 적합도가 큰 개체는 다음 세대에 생존할 가능성이 크게 되며 이와 반대로 적합도가 작은 개체는 생존할 가능성이 작게 된다.

## 5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 부하의란에 대해 적응성을 갖도록 부하의 변동이 다양하게 변동될 경우에 있어서 2지역으로 연계된 전력계통의 부하주파수제어를 위해 유전알고리즘을 이용한 퍼지 전 보상 PID 제어를 설계하였다. 설계된 제어기는 각각의 지역에 적용되고, 각 발전기의 제어입력은 조속기에 적용되며, 이 입력을 조절함으로써 주파수를 조절하도록 하고 있다. 제어기 설계시에는 먼저, 퍼지 전 보상기의 입출력 요소인  $e_1$ ,  $\Delta e_1$ 와  $y_{ri}$ 에 대해서 3개의 퍼지변수를 초기 설정하고, 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 전 보상기의 전진부 및 후진부의 중심치와 폭, 스케일링 계수와 제어규칙을 계산하게 된다. 이 구성요소에 의한 제어성능은 평가함수가 최소화 될 때까지 반복계산 하게 된다. 제안한 제어기의 유용성을 입증하기 위하여 종래의 설계방식인 PID 제어[9] 및 퍼지 전 보상 PID 제어[10]방식을 이용하였을 경우에 대하여 시뮬레이션을 통하여 동특성을 비교, 고찰하였다. 또한 각 방식에 대한 평가함수의 비교를 통하여 제어성능을 고찰하였다. 여기서 사용된 PID 제어방식은 시간영역 상에서 임계이득과 임계주기를 구하여 쉽게 파라미터를 선정할 수 있는 ZN 방식을 이용하였고, 퍼지 전 보상 PID 제어방식은 시행착오법에 의한 전 보상 방식을 이용하였다.

### 5.1 1지역에 부하의란 $\Delta P_{d1} = 0.01$ (p.u.)가 지속적으로 발생하였을 경우

유전 알고리즘의 초기 파라미터는 표 1과 같고, 각 지역에 대해 최적화된 퍼지 전 보상기의 각 구성요소의 값들은 각각 표 2, 표 3과 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6은 멤버쉽함수의 동조과정과 최적화된 중심값과 폭을 나타내고 있다. 또 각 세대에 따른 최대적합도와 평균적

합도, 그리고 평가함수가 최소화되고 있는 과정을 그림 7에서 보여주고 있다.

표 1. 초기 파라미터

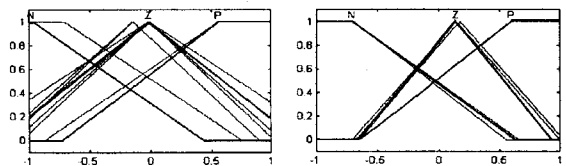
Parameters	Values
Population Size	40
Number of Generation	100
Crossover Rate	0.8
Mutation Rate	0.005

표 2. 최적화된 스케일링 계수

	GE	GCE	GYr'
Area 1	0.009040	0.002560	0.019358
Area 2	0.001137	0.000038	0.000685

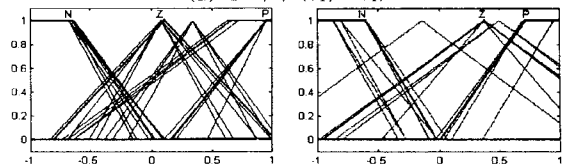
표 3. 최적화된 퍼지규칙

Area 1 ( $y_{r1}'$ )	$\Delta e_1$			Area 2 ( $y_{r2}'$ )	$\Delta e_2$		
	N	Z	P		N	Z	P
$e_1$	N	N	N	N	N	N	N
	Z	N	Z	Z	Z	N	Z
	P	Z	Z	P	P	N	Z



Label N Z P Final Center-0.9677-0.0161 0.5645 Final Width 2.8062 3.0000 2.6128

(a) 1 지역



Label N Z P Final Center-0.6290 0.1129 0.9516 Final Width 1.4516 1.8388 1.5806

(b) 2 지역 ( $e_2$ ,  $\Delta e_2$ )

	N	Z	P
Area 1 ( $y_{r1}'$ )	-0.9516	0.3710	0.9032
Area 2 ( $y_{r2}'$ )	-0.5000	0.0484	0.7742

(c) 후진부 파라미터  
그림 6. 최적화된 멤버쉽함수

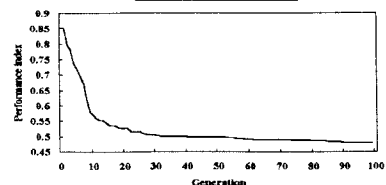
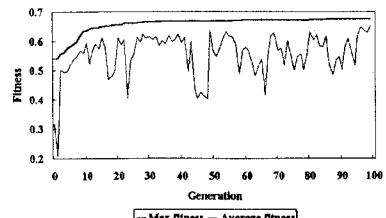


그림 7. 적합도와 평가함수

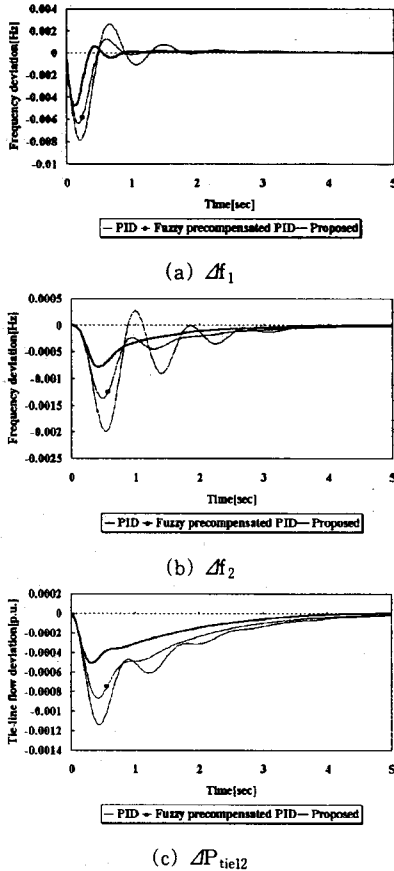


그림 8. 전력계통의 동특성 응답 ( $\Delta P_{dl} = 0.01(p.u.)$ )

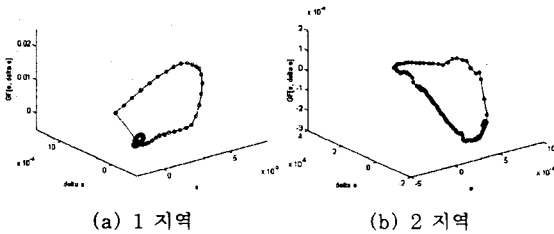


그림 9. 기준점의 자동동조

그림 8의 (a)와 (b)는 각각 1지역과 2지역의 주파수 편차량의 응답특성을 나타내고 있으며, 그림 8의 (c)는 연계선 조류 편차량의 응답특성을 나타내고 있다. 제안한 제어기법이 PID 및 퍼지 전 보상 PID 제어보다 주파수 최대 편차량 및 연계선 조류의 최대 편차량을 현저히 감소시켰고, 정정시간 역시 현저히 감소시켰다.

그림 9는 오차와 오차 변화량에 대해 각 지역에 대한 기준점이 자동동조 되어지는 과정으로서, 얼마간의 시간 후에는 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이 시점에서 전 보상기는 더 이상 필요가 없으며 단지 PID 제어기에 의해서 전력계통이 제어되고 있는 하이브리드형의 성질을 나타내고 있다.

제어성능을 평가하기 위해 식(7)의 평가함수를 사용하여 PID, 퍼지 전 보상 PID 및 GA-퍼지 전 보상 PID의 제어성능을 비교한 결과는 표 4와 같으며, 제안한 기법의 우수함을 알 수 있었다.

표 4. 평가함수

Performance Index	Control Method		
	PID	Fuzzy PID	Proposed
J	$9.531 \times 10^{-1}$	$7.531 \times 10^{-1}$	$4.801 \times 10^{-1}$

## 5.2 $\Delta P_{dl} = 0.03(p.u.)$ , $\Delta P_{dl} = 0.01(p.u.)$ 일 경우

두 번째의 사례연구 조건으로는 1지역과 2지역에 부하의란이 동시에 지속적으로 인가되는 것으로 하였다. 식(7)의 평가함수를 사용하여 비교한 결과는 표 5와 같으며, 역시 제안한 기법이 PID, 퍼지 전 보상 PID보다 평가함수를 최소화시킴을 알 수 있었다.

표 5. 평가함수

Performance index	Control method		
	PID	Fuzzy PID	Proposed
J	3.026	2.339	1.711

## 6. 결론

본 논문에서는 2지역으로 연계된 전력계통의 주파수 및 연계선 조류 편차량을 허용치 이내로 수렴시키기 위해 유전 알고리즘을 이용한 최적의 퍼지 전 보상 PID 제어기를 설계하였다. 본 논문의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 퍼지 전 보상기 설계시 최적화에 강인한 유전 알고리즘을 이용하였으며, 종래의 퍼지 전 보상 PID 제어기의 구성요소 선정시 사용되었던 시행착오법이나 부분적인 최적화와는 달리 자동으로 모든 퍼지 전 보상기의 구성요소를 최적화시켰다.

둘째, PID 제어기의 자동동조를 위해 기준점 변경방식과 이득 변경방식중 전자의 방식을 사용하였으며, 이 방식은 현재 전력계통에 사용중인 PID 제어시스템에 간단히 설치될 수 있는 제어구조를 가지고 있음을 보였다.

셋째, 2가지 경우의 사례연구를 통하여 작은 부하의란과 비교적 큰 외란이 각 지역에, 또는 동시에 지속적으로 발생하였을 경우 제안한 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 전 보상 PID 제어기법이 종래의 제어 방식들보다 주파수 최대 편차량 및 연계선 조류 최대 편차량을 경감시킬 수 있었고, 정정시간을 감소시킬 수 있었다.

## (참고 문헌)

- [1] C. E. Fosha and O. I. Elgerd, "The Megawatt-Frequency Control Problem: A new Approach Via Optimal Control Theory", IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol. Pas-80, No. 4, pp. 553-577, 1970.
- [2] 정형환, 김상효, 정문규, "전력계통의 부하주파수 제어를 위한 신경회로망 전 보상 PID 제어기 적용", 韓國船舶機關學會誌, 제 23권 4호, pp. 480-487, 1999.
- [3] H. H. Chung, J. T. Lee, S. M. Joo, M. K. Chung, "Application of Fuzzy PID Controller for Stabilization of Power System", 1999 IEEE International Fuzzy Systems Conference, pp. 1729-1733, 1999.
- [4] S. Tzafestas and N. P. Papanikolopoulos, "Incremental Fuzzy Expert PID Control", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 37, No. 5, 1990.
- [5] C. L. Chen, P. C. Chen and C. K. Chen, "Analysis and Design of Fuzzy Control System", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 57, pp. 125-140, 1993.
- [6] T. Brehm and K. S. Rattan, "Hybrid Fuzzy Logic PID Controller", 3th IEEE international conference on fuzzy systems, Vol. 3, pp. 1682-1687, 1994.
- [7] S.-Z. He, S. Tan and F.-L. Xu, "Fuzzy self-tuning of PID controllers", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 24, pp. 37-46, 1993.
- [8] T. Hagglund and K. J. Astrom, "Automatic tuning of PID controllers based on dominant pole design", Proc. IFAC Workshop on Adaptive Control of Chemical Processes, Frankfurt, 1985.
- [9] C. C. Hang, K. J. Astrom and W. K. Ho, "Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula", IEE Proc.-D, Vol. 138, No. 2, pp. 111-118, 1991.
- [10] J. H. Kim, K. C. Kim and E. K. P. Chong, "Fuzzy Precompensated PID Controllers", IEEE Trans. Cont. Syst. Tech., Vol. 2, No. 4, pp. 406-411, 1994.
- [11] R. Babuska and P. Horacek, "Laboratory evaluation of fuzzy controllers", Preprints of the IFAC/IFIC/IMACS Internat. Symp. on Artificial Intelligence in Real-Time Control, Delft, pp. 263-268, 1992.
- [12] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1989.
- [13] 정형환, 왕용필, 정동일, 정문규, "유전 알고리즘을 이용한 전력시스템 안정화 장치의 최적 파라미터 선정", 대한전기학회논문지, 제 48권 6호, pp. 683-691, 1999.