

A Study on the Manabe Standard Form Using the Evolutionary Strategy

姜 煥 一* · 鄭 堯 元**
(Hwan IL Kang · Yo Won Joung)

Abstract - The step response of the Manabe standard form[2] has little overshoot and shows almost same waveforms regardless of the order of the characteristic polynomials. In some situations it is difficult to control the rise time and settling time simultaneously of the step response of the Manabe standard form. To control its rise time and settling time efficiently, We develop the Manabe standard form: We try to find out the SRFS(Slow Rise time & Fast Settling time) form which has the slower rise time and faster settling time than those fo the Manabe standard form. We also consider the other three forms: FRSS(Fast Rise time & Slow Settling time), SRFS(Slow Rise time & Fast Settling time) and SRSS(Slow Rise time & Slow Settling time) forms. In this paper, by using the evolutionary strategy, we obtain all the coefficient of the four forms we mention above. Finally, we design a controller for a given plant so that the overall system has the performance that the rise time is faster, the settling time is faster than those of the Manabe standard form.

Key Words :Step response, Manabe standard form, Characteristic polynomials, Settling time, Rise time

1. 서 론

최근 Manabe 표준형을 이용한 제어기해석과 설계에 관한 논문이 많이 발표되고 있다[6][7][8]. Manabe 표준형은 안정지수로 페루프다항식의 특성다항식을 표현하는데 여기서 안정지수(γ_i)란 계수의 함수로서 표시된다. Kessler[1,2]는 다중루프구조에서 전달함수의 특성다항식에 대해 모든 안정지수 γ_i 를 2로 설정하였으며, 계단응답에서 오버슈트를 갖는다. 반면에 Manabe는 γ_1 을 2.5로 크게 하여 계단응답에 대해 거의 오버슈트가 발생하지 않도록 특성다항식을 설계하였다[3]. 이러한 안정지수의 특별한 값을 Manabe 표준형(standard form)[3]이라고 부르며 이를 제어기 설계에 이용하고 있다. Manabe 표준형은 속도와 damping사이의 균형을 이루도록 설계하였고 같은 등가시정수 τ 에 대하여 비교적 작은 정정시간(settling time)을 갖는다. Manabe 표준형은 계수도법(Coefficient Diagram Methods: CDM)[1,3]에서 초기 설계로 많이 쓰이고 있으며 차수에 관계없이 단위 계단응답이 거의 동일한 특징을 갖는다. 여기서 계수도란 계수의 로그값을 y축에 표시하고 그 계수와 상응한 차수는 x축에 표시하여 제어기설계에 이용할 수 있는 그래프를 의

미한다. 계수도법이란 계수도법을 이용하여 제어시스템을 설계하고자 하는 방법이다.

구간 플랜트의 강인 제어기설계에 Lipatov & Sokolov[4]의 결과를 이용한 연구가 진행되었고[5] Manabe 표준형을 변형시킨 일반화된 Manabe 형을 이용하여 설계자가 원하는 출력과형을 얻도록 하는 제어기설계에 관한 논문이 발표되었으며[6] 이 논문에서는 지연시간 10%도달시간과 99%도달시간에서 10%도달시간의 차이에 따라 이에 상응하는 Manabe형의 변형을 시도하였다. Pseudo inverse 방법을 이용하여 자동적으로 제어기를 설계하려는 시도를 논문[7]에서 볼 수 있다. 그러나 제어기의 차수가 큰 경우에는 Diophantine 방정식의 해를 역행렬방법으로 구할 수 있다 [8,9,10].

본 논문에서는 Manabe 표준형보다 빠른 상승시간과 빠른 정정시간을 얻기 위한 안정지수를 구하는 것이 첫째 목적이다. 이는 우선 등가시정수의 값을 감소시켜 구할 수 있으나 이는 상승시간과 정정시간을 같은 비율로 감소시키는 경향이 있기 때문에 상승시간과 정정시간을 독립적으로 조절하여 Manabe 표준형보다 빠른 상승시간과 빠른 정정시간을 얻을 수 없다. 또한 안정지수 γ_i 값을 조절하여 원하는 상승시간과 정정시간을 구하는 데는 수학적인 명확한 방법이 제시되지 않았다. 그러나 보조정리로 부터 안정지수 $\gamma_i > 1.4656$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)이 주어지므로 최적화 알고리즘을 사용하여 원하는 상승시간과 정정시간을 얻기 위한 γ_i 값을 찾을 수 있다. 논문[11]에서 최적화 알고리즘에 하나인 전역최적값을 구할 수 있는 유전자 알고리즘을 이용하여

* 正 會 員 : 明知大 電氣情報制御工學部 副教授 · 工博
** 準 會 員 : 明知大 電氣情報制御工學部 碩士課程
接受日字 : 2000年 8月 4日
最終完了 : 2001年 1月 19日

안정지수 γ_i 값을 구할경우 이는 이진연산을 기본으로 하는 유전자 알고리즘을 사용하기 때문에 탐색시간이 많이 걸리며, 전역탐색에 비해 효과적인 국부탐색이 어렵기 때문에 4차, 5차 특성다항식에 대한 원하는 상승시간과 정정시간을 구할경우 자동적으로 γ_i 값을 구하지 못하고 경험적인 방법으로 γ_i 를 구해야 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 유전자 알고리즘보다 탐색시간이 짧고, 전역탐색과 국부탐색이 보다 효과적인 진화전략을 사용한다. 또한 Manabe 표준형의 형태와 같이 차수가 변하더라도 계단응답 특성이 변하지 않는 특성을 유지하도록 안정지수를 결정한다. 이와 같이 Manabe 표준형보다 빠른상승시간과 빠른정정시간을 가지며 차수에 관계없이 거의 일정한 형태를 갖는 안정지수의 특별한 값을 FRFS형(Form with Fast Rise Time & Fast Settling Time)이라고 명명한다. 이와 유사한 방법으로 Manabe표준형보다 느린 상승시간과 느린 정정시간을 갖는 안정지수를 구하여 이를 SRSS(Form with Slow Rise Time & Slow Settling Time)형으로 명명한다. 또한 유사하게 FRSS(Form with Fast Rise Time & Slow Settling Time)형과 SRFS(Form with Slow Rise Time & Fast Settling Time)형도 구한다.

2. Manabe 표준형

선형 시불변 시스템의 특성다항식이 다음과 같이 주어질 때

$$F(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i \quad (a_i > 0, (i=0, 1, \dots, n)) \quad \text{(식 2-1)}$$

안정지수 γ_i 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\gamma_i = \frac{a_i^2}{a_{i-1} a_{i+1}} \quad (i=1, 2, \dots, n-1) \quad \text{(식 2-2)}$$

보조정리는 Lipatov & Sokolov[4] 그리고 Lo[1]에서 얻을 수 있다. 보조정리에 적용되는 다항식의 차수는 3차 이상으로 한다.

보조정리 : 특성 다항식이 좌반평면 안정할 충분조건은 모든 i 에 대하여 부등식 $\gamma_i > 1.4656$ ($i=1, 2, \dots, n-1$) 이 성립한다.

정의 : 2차이상의 n 차 특성다항식에서 $\gamma_1 = 2.5, \gamma_2 = \dots = \gamma_{n-1} = 2$ 이면 Manabe표준형이라 한다. 여기서 $\tau = a_1/a_0$ 를 등가시정수라 한다[2].

안정지수와 다항식의 계수와의 관계는 다항식 $\sum_{i=0}^n a_i s^i$ 에서 다음과 같이 주어진다.

$$a_i = \frac{a_0 \tau^i}{\gamma_{i-1} \gamma_{i-2} \dots \gamma_2 \gamma_1^{i-1}} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \text{(식 2-3)}$$

3. 진화전략(Evolutionary Strategy)

진화전략은 1960년대에 독일에서 개발된 매개변수 최적화 문제를 해결할 수 있는 방법으로써 자연 진화의 원리를 모방

한 알고리즘이다[12]. 이후 진화전략은 Rechenberg와 Schwefel에 의해 발전을 거듭하였다. 일반적인 진화전략은 선택방법과 개체집단수에 따라 두 회원 진화전략과 다 회원 진화전략으로 구분된다. 초기에 많이 사용되었던 두회원 진화 전략은 하나의 개체집단으로 구성되었으며, 단 하나의 유전연산자인 돌연변이 연산자만을 사용했다. 반면에 다회원 진화 전략은 유전연산자로 돌연변이 연산자와 교배연산자를 사용하며, 선택방법에 따라 $(\nu+\lambda)-ES$ 와 $(\nu, \lambda)-ES$ 로 구분된다. $(\nu+\lambda)-ES$ 는 ν 개의 개체들이 λ 개의 자손세대를 생성하며, $(\nu+\lambda)$ 개체들의 새로운 개체집단은 선택과정에 의해 다시 ν 개의 개체들로 축소된다. 반면, $(\nu, \lambda)-ES$ 에서 ν 개의 개체들은 λ 개의 자손세대 ($\lambda > \nu$) 를 생성하고 선택과정은 λ 개의 자손세대의 집합으로부터 ν 개체들의 새로운 개체집단을 선택한다. $(\nu+\lambda)-ES$ 는 $(\nu, \lambda)-ES$ 에 비해 엘리트 선택방법을 취하기 때문에 적합도가 단조적으로 향상되는 효과를 가질 수 있으나, 자기적용 메카니즘을 무용하게 만들 수 있기 때문에 최근에는 $(\nu, \lambda)-ES$ 를 많이 사용하고있는 추세이다. 본 논문에 사용된 진화전략은 $(\nu, \lambda)-ES$ 이며, 유전연산자로는 돌연변이 연산만을 사용하였으며, 사용된 매개변수들은 다음과 같다.

사용된 초기 개체집단, 그리고 적합도 함수(f)는 다음과 같다.

$$\nu(k) = (\nu_1(k), \nu_2(k), \dots, \nu_M(k))^T \\ = \begin{pmatrix} \nu_{11} & \nu_{12} & \dots & \nu_{1l} \\ \nu_{21} & \nu_{22} & \dots & \nu_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \nu_{M1} & \nu_{M2} & \dots & \nu_{Ml} \end{pmatrix} \quad \text{(식 3-1)}$$

$$\nu_1(k) = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_l, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_l) \quad \text{(식 3-2)}$$

$$f = 1 / [(t_r - t_{dr})^2 + (t_s - t_{ds})^2 + 0.01] \quad \text{(식 3-3)}$$

다음은 진화전략의 진행과정을 나타낸다.

- step 1) 초기개체집단 λ 개를 선택한다.
- step 2) 적합도 함수를 설정하고, λ 개의 개체에서 적합도가 높은 순으로 ν 개의 개체를 선택한다.
- step 3) 선택된 개체가 정지조건을 만족하면 종료하고 아니면 step 4)로 간다.
- step 4) 돌연변이 연산을 수행하여 λ 개의 개체를 생성한다.
- step 5) 적합도 함수를 통하여 ν 개의 개체를 선택한다.
- step 6) 선택된 개체가 정지조건을 만족하면 종료하고 아니면 step 4)로 간다.

본 논문에서 사용된 돌연변이 연산은 다음과 같다.

하나의 개체집단 $\nu = (\gamma, \sigma)$ 로 표현되고 여기서 γ 는 탐색공간내의 하나의 점을 나타내며, 실제 안정지수 γ_i 를 나타낸다. 두 번째 벡터 σ 는 표준편차들의 벡터이며, 본 논문에서는 $\sigma = 0.1$ 로 고정하였다. 돌연변이는 γ 를 다음의 수식으로 대치시킴으로서 실현된다.

$$\gamma^{t+1} = \gamma^t + N(0, \sigma) \quad \text{(식 3-4)}$$

$N(0, \sigma)$ 는 평균이 0이고, 표준편차가 σ 인 독립적인 가우시안 숫자들의 벡터이다. f 가 구속조건이 없는 최대가 되기 위한 목적함수라 하면, 자손세대 (γ^{t+1}, σ) 는 $f(\gamma^{t+1}) > f(\gamma^t)$ 일 때만 그것들이 부모세대와 바뀐다.

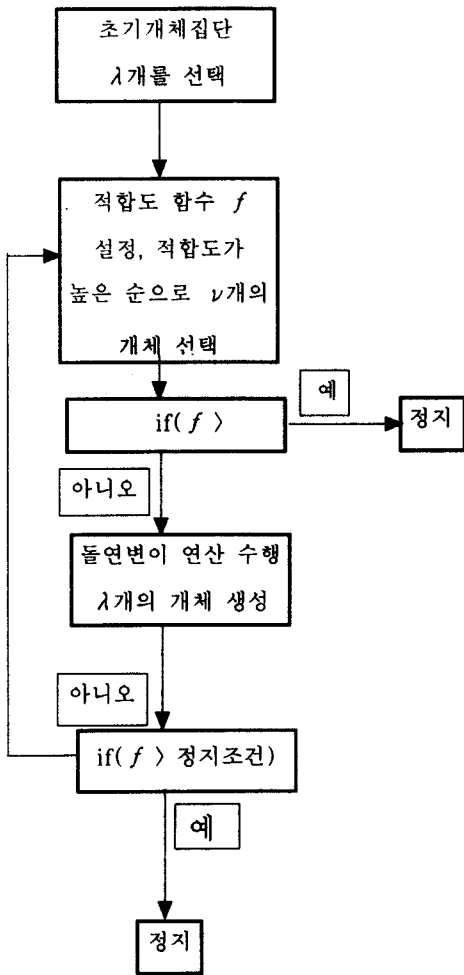


그림 3-1. 진화전략 순서도

Fig 3-1. The flowchart of Evolutionary Strategy

4. 모의실험 및 결과

우선 특성다항식의 계수를 6차로 고정시킬 경우 $F(s) = \sum_{i=0}^6 a_i s^i$ ($a_i > 0, (i=0, 1, \dots, 6)$)와 같이 되고, 보조정리를 사용하여 안정지수 ($\gamma_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$) 의 하한값을 1.47로 하고 상한값은 10.0으로 한다. 진화전략을 사용하여 초기개체집단 $\lambda(20)$ 개를 발생시키고, 선택방식은 비례선택방법을 사용하여 $\nu(5)$ 개의 새로운 개체집단을 생성하였다. 적합도함수는 $1/[(t_r - t_{rd})^2 + (t_s - t_{sd})^2 + 0.01]$ 로 하였다. 여

기서 t_r, t_{rd}, t_s, t_{sd} 는 각각 구한 상승시간, 원하는 상승시간, 구한 정정시간과 원하는 정정시간을 나타낸다. 그리고 7차와 8차에 관하여 안정지수의 갯수를 증가시켜가며 6차와 동일한 방법으로 진화전략을 이용하였다. 4차와 5차의 경우는 6차에서 구한 안정지수에서 γ_5, γ_4 와 γ_5 를 제거하여 구하였다. 그림 1에서 그림 4까지는 FRFS형 FRSS형 SRFS형 과 SRSS형의 4차에서 8차까지의 단위계단응답곡선을 나타냈다. 표1에서4까지는 4가지형의 안정지수, 상승시간, 정정시간과 오버슈트의 유무에 관하여 기술하였다. 또한 그림 5 에서는 6차 다항식을 이용한 단위계단응답곡선을 4가지형과 Manabe 표준형의 단위계단응답곡선과 비교하였다.

5. 제어기 설계의 예

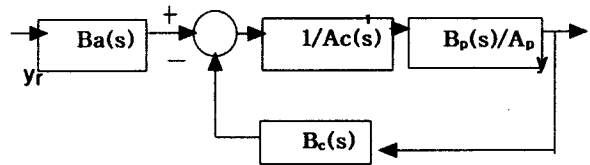


그림 5-1. RST보상기 구조

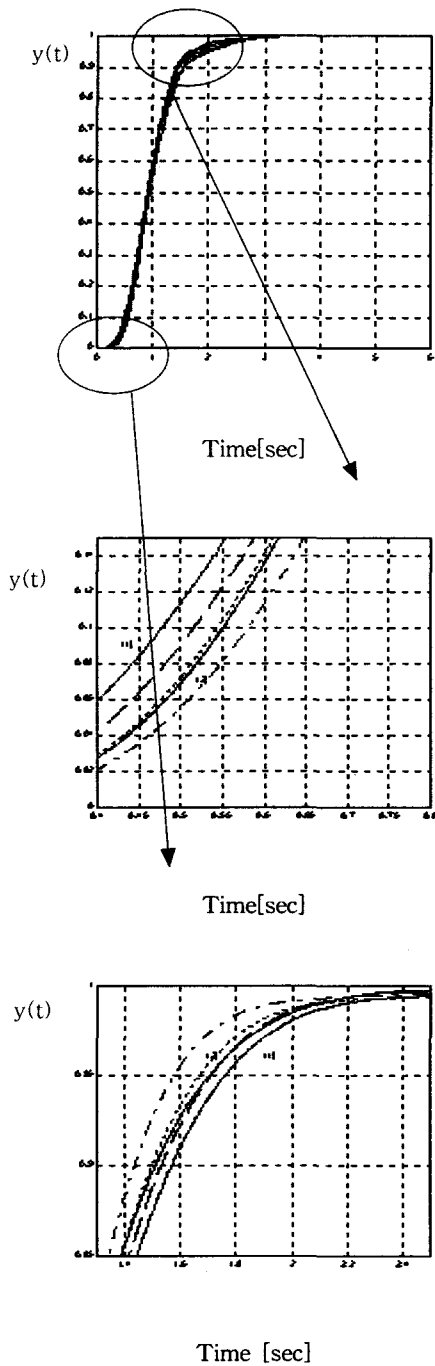
Fig 5-1. The configuration of RST compensator

그림 5-1 과 같은 RST보상기 구조(두변수 구성 시스템)에서 플랜트 $G(S)$ 가 주어지고, 설계명세가 다음과 같은 경우

- y_r : 기준입력 y : 출력
- A_p : 플랜트의 분모 B_p : 플랜트의 분자
- A_c : 제어기의 분모 B_c : 제어기의 분자
- u : 제어기의 출력 B_o : 전향 보상기

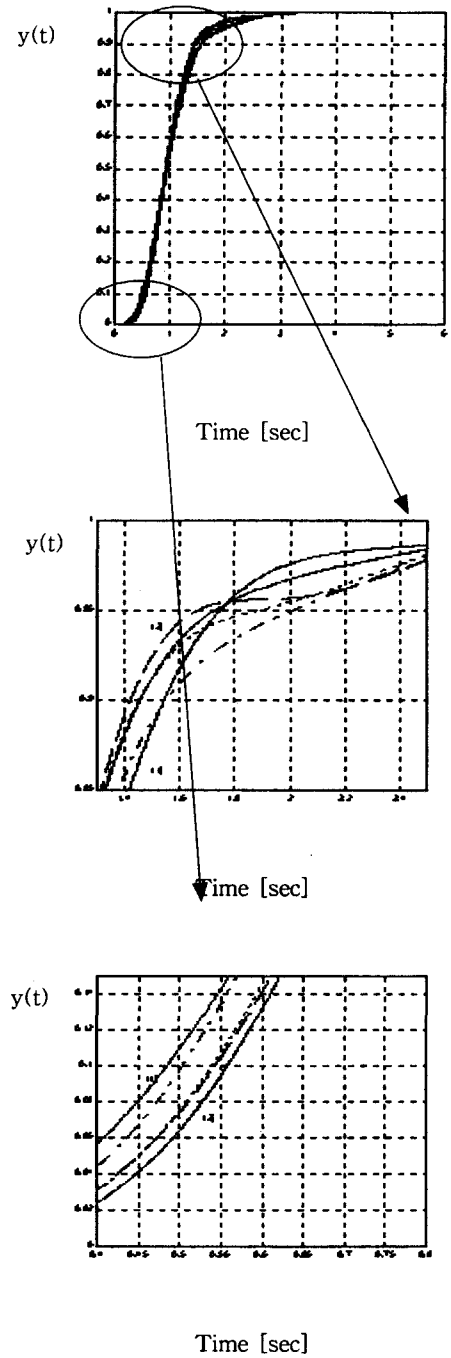
$$G(S) = \frac{B_p(S)}{A_p(S)} = \frac{160(S+2.5)(S+0.7)}{(S^2+5S+40)(S^2+0.03S+0.06)} \quad (\text{식 5-1})$$

- 상승시간(목표값의 10%에서 90%까지의 도달시간) : 2.2sec
 - 정정시간(목표값의 98%까지의 도달시간) : 4.1sec
 - 백분율 오버슈트 : 0%.
 - 제어기 차수 : 1차 피드백 제어기.
- 근사 극배치 설계방법[13]으로 Diophantine Equation과 5차



실선 : 4차(1), 8차(2)
 - - : 5차
 : 7차
 - . : 6차

그림 4-1. FRFS Forms of order 4, 5, 6, 7, 8차
 Fig 4-1. FRFS Forms of order 4, 5, 6, 7, 8



실선 : 4차(1), 8차(2)
 - - : 5차
 : 7차
 - . : 6차

그림 4-2. FRSS Forms of order 4, 5, 6, 7, 8차
 Fig 4-2. FRSS Forms of order 4, 5, 6, 7, 8

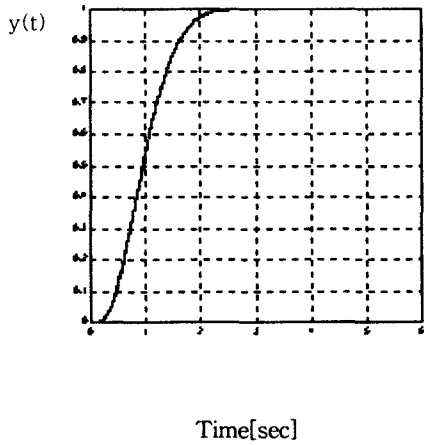


그림 4-3. SRFS Forms 4, 5, 6, 7, 8차
Fig 4-3. FRSS Forms of order 4, 5, 6, 7,

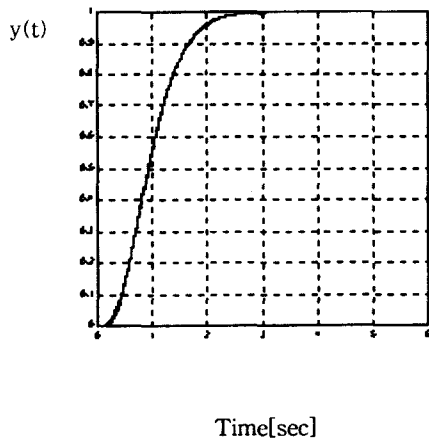


그림 4-5. 6차의 FRFS, FRSS,
SRFS, SRSS, Manabe form의
계단응답곡선

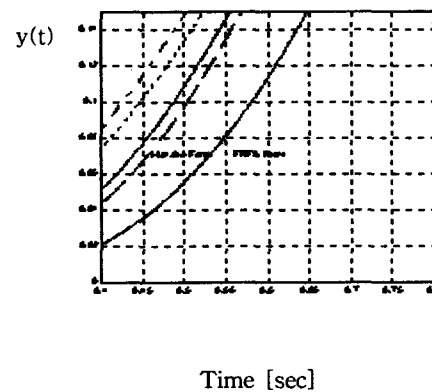
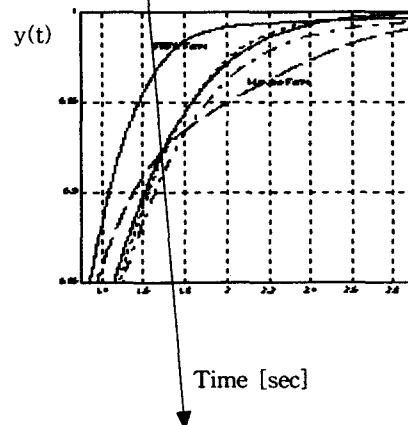
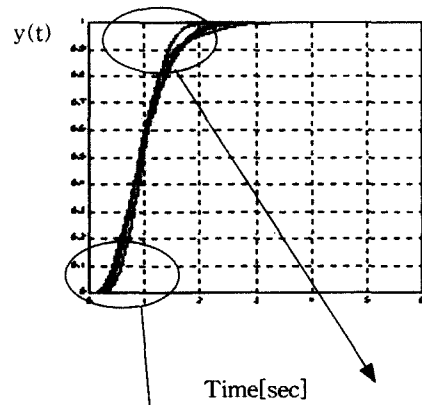
Fig 4-5. The step response curve of six
order FRFS, FRSS, SRFS, SRSS forms and
Manabe form

Manabe 표준형을 이용하여 설계하면,

$$A_c(s) = l_1s + l_0 = 1.1974s + 2.2928 \quad (\text{식 5-2})$$

$$B_c(s) = k_1s + k_0 = 0.0037s + 0.5185 \quad (\text{식 5-3})$$

와 같이 주어지고 다음으로 정상상태 이득을 1로 하기 위
해 적당한 상수(150.68272)와 플랜트의 영점을 전향보상기



- 실선 : Manabe, FRRS Form
- - : FRSS Form
- : SRFS Form
- . : SRSS Form

그림 4-5. 6차의 FRFS, FRSS, SRFS, SRSS,
Manabe form의 계단응답곡선

Fig 4-5. The step response curve of six
order FRFS, FRSS, SRFS, SRSS forms and
Manabe form

표 1. FRFS form의 특성.

Table 1. The characteristic of the FRFS Forms.

type	안정 지수						
	γ_7	γ_6	γ_5	γ_4	γ_3	γ_2	γ_1
FRFS					2.5897	1.9026	2.5100
				2.5439	1.9726	1.8477	2.4053
			2.7856	1.5462	1.7086	1.6807	2.3029
		3.5333	1.7303	1.7697	1.7972	1.7510	2.3820
		1.9053	1.8495	2.7672	1.5404	1.7560	1.7766

차수	Manabe		FRFS		Overshoot	
	Tr	Ts	Tr	Ts	Manabe	FRFS
4	1.0960	2.3826	1.0943	2.1850	yes	no
5	1.1159	2.3095	1.0150	2.0780	yes	no
6	1.1165	2.3074	0.8527	1.9303	no	no
7	1.1166	2.3076	0.9521	2.0814	no	no
8	1.1166	2.3076	0.9583	2.0958	no	no

표 2. FRSS form의 특성.

Table 2. The characteristics of FRSS form.

type	안정 지수						
	γ_7	γ_6	γ_5	γ_4	γ_3	γ_2	γ_1
FRSS					2.2584	1.8210	2.5568
				1.6256	1.7936	1.5943	2.5484
			4.0077	2.0224	1.8033	1.6914	2.6955
		2.8040	3.9469	1.6698	1.7250	1.6297	2.5636
		.9867	3.3105	2.1913	1.4912	1.7246	1.6244

차수	Manabe		FRSS		Overshoot	
	Tr	Ts	Tr	Ts	Manabe	FRSS
4	1.0960	2.3826	1.0568	2.7960	yes	no
5	1.1159	2.3095	0.8762	2.7641	yes	no
6	1.1165	2.3074	1.0461	2.8560	no	no
7	1.1166	2.3076	0.9119	2.7452	no	no
8	1.1166	2.3076	0.8961	2.7689	no	no

표 3. SRFS form의 특성.

Table 3. The characteristics of SRFS form.

type	안정 지수						
	γ_7	γ_6	γ_5	γ_4	γ_3	γ_2	γ_1
SRFS					3.5639	2.0355	2.5561
				2.4224	3.2629	2.0183	2.5459
			8.8409	3.4962	4.5291	2.0189	2.5922
		2.1316	1.4913	3.9311	3.9194	2.0686	2.5706
		3.2596	3.1057	2.1112	3.6896	3.9492	2.0205

차수	Manabe		SRFS		Overshoot	
	Tr	Ts	Tr	Ts	Manabe	SRFS
4	1.0960	2.3826	1.1603	2.2300	yes	no
5	1.1159	2.3095	1.1538	2.2240	yes	no
6	1.1165	2.3074	1.1738	2.2522	no	no
7	1.1166	2.3076	1.1768	2.2487	no	no
8	1.1166	2.3076	1.1768	2.2487	no	no

표 4. SRSS form의 특성.

Table 4. The characteristics of SRSS form.

type	안정 지수						
	γ_7	γ_6	γ_5	γ_4	γ_3	γ_2	γ_1
SRSS					3.1832	2.1863	2.6842
				1.5814	2.5552	2.1782	2.6767
			6.6157	3.8612	5.8525	2.1139	2.7132
		3.3229	3.1213	1.7948	3.1409	2.1666	2.6890
		3.0925	1.7965	3.5097	1.7599	2.9987	2.1676

차수	Manabe		SRSS		Overshoot	
	Tr	Ts	Tr	Ts	Manabe	SRSS
4	1.0960	2.3826	1.2279	2.5345	yes	no
5	1.1159	2.3095	1.2268	2.5349	yes	no
6	1.1165	2.3074	1.2281	2.5336	no	no
7	1.1166	2.3076	1.2291	2.5382	no	no
8	1.1166	2.3076	1.2280	2.5363	no	no

정시간을 요구할 경우 FRFS형을 이용하면 쉽게 구현할 수 있다. FRFS형을 이용하면,

$$A_c(s) = l_1s + l_0 = 1.2092s + 2.0768 \quad (\text{식 5-4})$$

$$B_c(s) = k_1s + k_0 = 0.0003s + 0.433 \quad (\text{식 5-5})$$

와 같고, 상승시간 2sec와 정정시간 4.03sec 백분율 오버슈트 0%로 설계명세를 만족한다. ($\tau = 1.82\text{sec}$) 그림 5-2는 각각의 계단응답 특성이다.

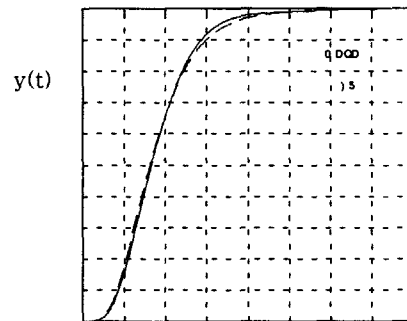


그림 5-2. Manabe Form과 FRFS Form의 계단응답특성.

그림 5-2. The characteristic of step response for the Manabe Form and FRFS Form.

6. 결 론

본 논문에서는 진화전략을 이용하여 Manabe 표준형의 상승 시간과 정정시간보다 빠른특징을 갖는 전달함수의 계수를 결정했으며(FRFS form), 또한 다른 3가지 형의 Manabe 표의 극점으로 하면 상승시간 2.16sec와 백분율 오버슈트 0%

를 만족하지만 정정시간이 4.36sec로 전체 설계명세를 만족시키지 못한다. ($\tau=1.82\text{sec}$) 따라서 이보다 더 빠른 정준형의 상승시간과 정정시간보다 빠르거나 느린특징을 갖는 전달함수의 계수를 찾았다.(SRSS form, FRSS form, SRFS form). 그리고 이러한 4가지형의 유용함을 "5.제어기 설계의 예"에서 5차의 Manabe 표준형을 이용한 제어기설계와 5차의 FRFS형을 이용한 제어기설계를 비교함으로써 그 유용성을 보였다. 즉, Manabe 표준형을 이용할 경우 상승시간 2.16sec 백분율 오버슈트 0%로 설계명세를 만족하지만 정정시간이 4.36sec로 전체 설계명세를 만족시키지 못한다. 따라서 FRFS형을 이용할 경우 상승시간 2sec와 정정시간 4.03sec 백분율 오버슈트 0%로 전체 설계명세를 만족한다. 향후 진화전략보다 효과적인 전역 최적해와 국부 탐색을 할 수 있는 알고리즘을 개발해야 할 것이며 오버슈트를 허용함과 동시에 원하는 상승시간과 정정시간을 구할 수 있는 보다 일반화된 Manabe형의 안정지수를 찾아야 할 것이다. 또한 이러한 알고리즘을 개발하기 위해 BLRNN(Bilinear Recurrent Neural Network)과 진화전략을 결합할 것이다.

본 연구는 과학재단 특정기초연구과제(과제번호: 1999-2-30200-013-3)연구비에 의한 결과임

참 고 문 헌

[1] Lo Jason, "An algebraic approach to control system design," M.S. thesis, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1996.

[2] C. Kessler. "Ein Beitrag zur Theorie mehrschleifiger Regelungstechnik," vol. 8, no. 8, pp.261-266, 1960.

[3] S. Manabe, "Coefficient Diagram method," 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, pp. 199-210, August, 1998.

[4] A. V. Lipatov & N. I. Sokolov, "Some sufficient conditions for stability and instability of continuous linear stationary systems," *Avtomatika I Telemekhanika*, no. 9, pp. 30-37, 1978.

[5] 주성준, "리파토프 정리를 이용한 BLDC 모터의 강인한 제어기설계," pp. 784-787, Korea Automatic Control Conference, Pusan, 1998.

[6] 김신구, 최용희, 김영철, "새로운 성능지수," pp. 796-799, Korea Auto-matic Control Conference, Pusan, 1998.

[7] 허명준, 고종문 "고차플랜트를 위한 CDM," pp. 792-794, Korea Auto-matic Control Conference, Pusan, 1998.

[8] 김영철, 김한실, 허명준, 주성준, 강환일. "계수도법: 개설," pp. 772-775, Korea Automatic Control Conference, Pusan, 1998.

[9] 이은호, 김영철, "비교적 접근방식에 의한 계수도법의 강인성 해석," pp. 776-779, Korea Automatic Control Conference, Pusan, 1998.

[10] 정제윤, 김한실, "CDM을 이용한 역진자 제어기설계," pp. 788-791, Korea Automatic Control Conference, Pusan, 1998.

[11] Hwan Il Kang, Yo Won Jung, "A Study on the Generalization of the Manabe Standard Form Using the Genetic Algorithm," pp. 788-791, America Automatic Control Conference, Chicago, Jun 2000.

[12] 이상환, 전효병, 심규보 "진화 전략에 대한 학습의 영향," pp. B-136 -- B-139, Korea Automatic Control Conference, October 1999.

[13] 고종문, 허명준, 이석원 "근사 극배치 개념에 의한 고정차수 제어기 설계," pp. 472-474, 대한전기학회 추계학술대회 논문집.1999.

[14] R. C. Dorf & R. H. Bishop, "Modern Control Systems, 7th ed.," p. 562, p.278, Addison-wesley, MA, 1995.

[15] E. I. Jury, "Inners and Stability of Dynamic Systems," p. 27, Johns Wiley & Sons, New York, 1974.

[16] G. F. Franklin, J. D. Powell, A. Emami-Naeini, "Feedback Control of Dynamic Systems, 3rd. ed.," p. 490, 212, pp. 707-717, p. 489, Addison-Wesley Publishing Company, 1994.

[17] J. H. B. Kemperman. "A Hurwitz matrix is totally positive," *Siam. J. Math. Anal.*, Vol. 13, no. 2, pp. 331-341, 1982.

[18] D. Graham & R. C. Lathrop, "The Synthesis of optimum response: Criteria and standard forms," *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, vol. 72, pp. 273-288, 1953.

[19] R. Eising, "A collection of numerically reliable algorithms for the deadbeat control problems," *Systems & Control letters*, 4, pp. 189-193, 1984.

저 자 소 개



강 환 일 (姜煥一)

1956년 11월 27일 생. 1980년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1982년 KAIST 전기전자공학과 졸업(석사). 1992년 미국 Wisconsin-Madison 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박). 1993년~1995년 경상대 제어계측공학과 조교수. 1996년~현재 명지대 전기정보제

어공학부 부교수. 관심분야: 강인제어, 멀티미디어 정보처리.
Tel : 031-330-6476



정 요 원 (鄭堯元)

1972년 3월 17일 생. 1998년 명지대 제어계측공학과 졸업. 1999년~현재 동 대학원 정보제어공학과 석사과정

Tel : 031-330-6476

Email : yo8s@infinity.co.kr