'88 추계학술대회

'88 − B − 2

# 전향보상을 갖는 다변수 고이득 제어기 설계기법에 관한 연구

임 호*, 김 원 규, 박 정 일, 박 종 국

경희 대학교 전자공학과

# The study of the design technique for the multivariable high gain controller with feedforward compensation

Ho Lim*, Won-kyu Kim, Jeong-il Park, Chong-kug Park

Dept. of Electronic Engineering, Kyung Hee Univ.

**Abstract**

This paper deal with the robust high gain controller design technique by inner-loop feedback, output feedback, feedforward compensation, and presented the algorithm to be required the determination of gain matrix.

Using this control scheme, simulation results have been tested for the linearized model of the aircraft.

## I. 서론

본 논문에서는 고이득 궤환, 다변수 시스템의 근궤적, 고유 벡터의 점근적 구조를 적용하여 강건성을 갖는 제어기를 설계하였다.

일반적으로, 이러한 강건 제어기는 시스템의 안정화, 빠른 응답속도, 외란의 제거, 시스템 매개변수의 변화에 대한 비민감성, MIMO시스템을 등가의 SISO 시스템으로 분해가능케 하는 특성을 갖는다[1]

이러한 시스템은 최소 위상 시스템과 비최소 위상 시스템으로 분할 가능하다. 최소 위상 시스템에서는 전향경로를 통해 고이득 제어법칙이 적용되고, 비최소 위상 시스템에서는 내부 루우프 궤환을 통해 안정화 영점의 생성이나 소거가 행해진다[2].

시스템의 해석은 정방형시스템(square system)에 대해서만 행해졌다. 비정방형 시스템은 먼저 squaring-down 방법을 적용한 후 해석이 이루어져야 할 것이다[3].

## II. 본 론

### 1. 시스템의 정의

선형 시불변 시스템이 다음과 같은 역학 방정식으로 표현된다고 가정한다.

$$x(t)=Ax(t)+Bu(t)+d \qquad (1)$$

$$y(t)=Cx(t) \qquad (2)$$

여기서, $x\in R^{n}$, $u\in R^{m}$, $y\in R^{m}$, $A\in R^{n\times m}$, $B\in R^{n\times m}$, $C\in R^{m\times n}$, $d\in R^{n}$.

측정불가능한 외란 d가 존재할 경우 시스템의 출력이 command 입력을 따르도록 하는 것이 요구된다[1].

$$\lim_{t\to\infty} e(t)=\lim_{t\to\infty}[v(t)-y(t)]=0 \qquad (3)$$

행렬의 곱 CB의 rank가 결손을 갖는다면 고이득 오차 동작 제어기는 오차e(t)와 오차의 적분 z(t)를 결합하는 것만으로는 설계되어질 수 없으므로[2], 본 논문에서는 내부 루우프 궤환, 오차적분, 전향경로를 적용하여 고이득 제어기를 설계하였다. 제어기의 블록선도는 그림 1에 나타내었다. 이러한 제어기의 제어 법칙은 다음과 같은 일반적 형태를 갖는다.

$$u(t)=g[K_0e(t)+K_1z(t)+GHx(t)+Fv(t)] \qquad (4)$$

여기서, g는 스칼라 이득 매개변수이고, $K_0$, $K_1$, G, F는 오차, 오차의 적분, 내부 루우프, 전향경로에 대한 상수 이득 행렬이고, H 는 내부 루우프 궤환에서 측정가능한 상태를 결정하는 행렬이다.

(4) 식에서, $K_0\in R^{m\times m}$, $K_1\in R^{m\times m}$, $G\in R^{m\times p}$, $H\in R^{p\times n}$, $F\in R^{m\times m}$이다. 여기서, p 는 extra state w의 갯수이다.

$$w = Hx \qquad (5)$$

### 2. 시스템의 해석

(1),(2),(4)식으로 부터 다음과 같은 상태 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{z}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A-gBK_0C+gBGH, & gBK_1\\ -C, & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ z\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}gB(K_0+F)\\ I_m\end{bmatrix}v+\begin{bmatrix}d\\ 0\end{bmatrix} \qquad (6)$$

(6) 식에 대해 다음과 같은 선형변환을 취한다

$$x = T\,[\,x1 \quad x2\,]^{T} \qquad (7)$$

여기서, $T\in R^{n\times n}$, $x1\in R^{n-m}$, $x2\in R^{m}$ 이다.

변환행렬 T 는 다음 식을 만족하게끔 선택된다

$$T^{-1}B = [\,0 \quad B2\,]^{T} \qquad (8)$$

여기서, $B2\in R^{m\times m}$이고, 이것은 입력행렬 B가 full rank 일 때 가능하다.

다음과 같은 가정을 취한다.

$$T^{-1}AT = \begin{bmatrix} A11 & A12 \\ A21 & A22 \end{bmatrix} \qquad (9)$$

$$CT = [\ C1,\ C2\ ] \qquad (10)$$

$$HT = [\ H1,\ H2\ ] \qquad (11)$$

$$T^{-1}d = [\ d1,\ d2\ ]^T \qquad (12)$$

여기서, $A11 \in R^{(n-m)\times(n-m)}$, $A12 \in R^{(n-m)\times m}$, $A21 \in R^{m\times(n-m)}$, $A22 \in R^{m\times m}$, $C1 \in R^{m\times(n-m)}$, $C2 \in R^{m\times m}$, $H1 \in R^{p\times(n-m)}$, $H2 \in R^{p\times m}$, $d1 \in R^{n-m}$, $d2 \in R^{m}$ 이다.

(6)-(12)식으로부터 다음과 같은 방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & A12 & 0 \\ A21+gB_2(GH_1-K_0C_1) & A22+gB_2(GH_2-K_0C_2) & gB_2K_1 \\ -C1 & -C2 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ gB2(K_0+F) \\ I_m \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} d1 \\ d2 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (13)$$

(13)식으로 부터 다음과 같은 고유치 문제가 정의된다.

$$\begin{bmatrix} A11 & A12 & 0 \\ A21+gB_2(GH_1-K_0C_1) & A22+gB_2(GH_2-K_0C_2) & gB_2K_1 \\ -C1 & -C2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ z \end{bmatrix} \qquad (14)$$

여기서, $x_1 \in C^{n-m}$, $x_2 \in C^{m}$, $z \in C^{m}$ 이다.

### 3. 궤환이득행렬의 결정

(14) 식에 의해 정의되는 폐루우프 시스템의 고유구조가 1차 무한근과 유한근에만 관련된다고 가정한다.

i) 1차 무한근의 경우 ($\lambda=\sigma g$ 형태)

$g\to\infty$라고 가정하면 (14)식은 다음과 같이 간략화 되어진다.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ B_2(GH_1-K_0C_1) & B_2(GH_2-K_0C_2) & B_2K_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1^i \\ x_2^i \\ z^i \end{bmatrix} = \sigma \begin{bmatrix} x_1^i \\ x_2^i \\ z^i \end{bmatrix} \qquad (15)$$

여기서, 첨자 i는 1차 무한근에 관련된 고유벡터를 의미한다.

(15)식으로부터 다음의 결과가 얻어진다.

$$x_1^i=0,\ z^i=0 \qquad (16)$$

$$B_2(GH_2-K_0C_2)\chi_2^i = \sigma\chi_2^i \qquad (17)$$

(17)식은 $\sigma$ 와 $x_2^i$ 가 m x m full rank 행렬 $B_2(GH_2-K_0C_2)$의 고유치와 고유벡터라는 것을 의미한다. 따라서, $B_2$의 역변환이 가능하다.

(17)식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$GH_2-K_0C_2 = B_2^{-1}\Sigma \qquad (18)$$

여기서, $\Sigma \in R^{m\times m}$는 임의로 할당 가능한 고유구조를 갖는 행렬이다. 즉,

$$\Sigma = (x_2^i)\hat{\Sigma}(x_2^i)^{-1} \qquad (19)$$

(19)식에서 $\hat{\Sigma}$ 와 $(x_2^i)$는 다음과 같이 표시되는 $\Sigma$의 고유치와 고유벡터를 의미한다.

$$\hat{\Sigma} = diag[\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_m] \qquad (20)$$

$$\chi_2^i = (x_{2,1}^i, x_{2,2}^i, \cdots, x_{2,m}^i) \qquad (21)$$

(18)식으로 부터 미지의 행렬 G,H,K0의 원소들 사이의 관계를 알 수 있다.

ii) 유한근의 경우 ($\lambda=\lambda$)

(14)식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A11 & A12 & 0 \\ B_2(GH_1-K_0C_1) & B_2(GH_2-K_0C_2) & B_2K_1 \\ -C1 & -C2 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1^f \\ x_2^f \\ z^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^f \\ x_2^f \\ z^f \end{bmatrix} \qquad (22)$$

여기서, 첨자 f는 유한근에 관련된 고유벡터를 의미한다.

(18),(22) 식으로 부터 다음과 같은 방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A11-\lambda I_{n-m} & A12 & 0 \\ -C1 & -C2 & -\lambda I_m \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1^f \\ x_2^f \\ z^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (23)$$

$$B_2[(GH_1-K_0C_1), K_1]\begin{bmatrix} x_1^f \\ z^f \end{bmatrix} + \Sigma x_2^f = 0 \qquad (24)$$

(23)식은 유한근에 관련된 폐루우프 시스템의 고유벡터가 다음과 같다는 것을 의미한다.

$$\begin{bmatrix} x_1^f \\ x_2^f \\ z^f \end{bmatrix} \in kernel \begin{bmatrix} A11-\lambda I_{n-m} & A12 & 0 \\ -C1 & -C2 & -\lambda I_m \end{bmatrix} \qquad (25)$$

x 가 폐루우프 시스템의 유한근과 관련된 고유벡터라고 가정하면, 즉,

$$x^f = \begin{bmatrix} x_1^f \\ x_2^f \\ z^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1}^f, x_{1,2}^f, \cdots, x_{1,n}^f \\ x_{2,1}^f, x_{2,2}^f, \cdots, x_{2,n}^f \\ z_1^f, z_2^f, \cdots, z_n^f \end{bmatrix} \qquad (26)$$

이라면, n x n 행렬 $[x_1^f, z^f]^T$의 역변환이 가능하고 (24)식으로 부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

iii) 알고리즘의 유도

i),ii)에서 유도한 방정식들로 부터 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다.

1) 임의의 고유구조를 갖는 행렬 를 선택한다 선택되어진 행렬 $\Sigma$ 는 m 개 1차 무한근에 관련된다.
2) 임의의 n 개 유한근을 선택한다.
3) 선택된 유한근에 관련된 벡터공간을 결정한다.
4) 벡터공간으로부터 $[x_1^f, z^f]^T$가 nonsingular 이게끔 하는 고유벡터 x 를 선택한다.
5) (27)식으로 부터 행렬 K1,GH1-KOC1 을 찾는다.
6) (18)식으로 부터 행렬 GH2-KOC2를 찾는다.
7) 5),6)에서 얻어진 방정식들을 풀어 행렬 G,H,KO 를 유도한다.

### 4. 전향이득 행렬의 결정

이득 매개변수 $g\to\infty$ 일 때 폐루우프 시스템의 점근적 구조를 조사하면 전향행렬 F 를 결정할 수 있다.

페루우프 시스템의 유한근이 $j(j=1,---,n-m)$, $j(j=1,---,m)$ 에 의해 정의된다고 가정하면, $g \to \infty$일 때 페루우프 시스템의 일반해는 다음에 의해 주어진다.

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^f(\gamma), x_1^f(\rho), 0 \\ x_2^f(\gamma), x_2^f(\rho), x_2^i \\ z^f(\gamma), z^f(\rho), 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{\hat{N}t}, 0, 0 \\ 0, e^{\hat{R}t}, 0 \\ 0, 0, e^{g\hat{\Sigma}t} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^s \\ x_2^s \\ z \end{bmatrix} \quad \text{---------}(28)$$

여기서, $[x_1^f(\gamma), x_2^f(\gamma), z^f(\rho)]$는 n-m 유한근 j 에 관련된 고유벡터, $[x_1^f(\rho), x_2^f(\rho), z^f(\rho)]$는 m 유한근 j 에 관련된 고유벡터, $[0, x_2^i, 0]$는 m 유한근 j 에 관련된 고유벡터이다.

$\hat{N}=\mathrm{diag}[\gamma_1, \gamma_2, ----, \gamma_{n-m}]$, $\hat{R}=\mathrm{diag}[\rho_1, \rho_2, ---, \rho_m]$, $\hat{\Sigma}=\mathrm{diag}[\sigma_1, \sigma_2, ----, \sigma_m]$ 이고,

$a=[a_1, a_2, ---, a_{n-m}]^T$, $b=[b_1, b_2, ---, b_m]^T$, $c=[c_1, c_2, ---, c_m]^T$ 는 초기조건에 의해 결정되는 상수이고,

$[x_1^s, x_2^s, z^s]^T$는 상태 변수의 정상 상태값을 나타낸다.

페루우프 시스템이 안정하다고 가정하면, 상태 유도 함수가 영으로 감소할 때 상수 command 입력 벡터 v 에 대한 상태 변수의 정상 상태값을 (13)식으로 부터 구할 수 있고, 일 때 이것은 다음과 같이 표현된다.

$$A11 x_1^s + A12 x_2^s = -d1 \quad \text{----------------}(29)$$

$$B_2(GH_1 - K_0 C_1)X_1^s + B_2(GH_2 - K_0 C_2)x_2^s + B_2 K_1 z^s = -B_2(K_0+f)v \quad \text{-----}(30)$$

$$-C_1 x_1^s - C_2 x_2^s = -v \quad \text{----------------}(31)$$

(29),(31) 식은 다음과 같은 행렬형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A11, A12 \\ C1, C2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^s \\ z_2^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d1 \\ v \end{bmatrix} \quad \text{----------}(32)$$

시스템 행렬의 역변환이 가능하다고 가정하면, 상태 변수의 정상 상태값은

$$\begin{bmatrix} x_1^s \\ x_2^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & A12 \\ C1 & C2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -d1 \\ v \end{bmatrix} \quad \text{-------------}(33)$$

이고, (30),(31) 식으로 부터 다음과 같은 방정식을 유도할 수 있다.

$$z^s = -K_1^{-1}\{G[H_1, H_2][x_1^s, x_2^s]^T + Fv\} \quad \text{-----------}(34)$$

시간 t에서, (28)식이 다음과 같은 형태를 갖는다고 가정한다.

$$\begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ z(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^f(\gamma), x_1^f(\rho), 0 \\ x_2^f(\gamma), x_2^f(\rho), x_2^i \\ z^f(\gamma), z^f(\rho), 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^s \\ x_2^s \\ z^s \end{bmatrix} \quad (35)$$

하중계수 a,b,c 는 (35)식으로 부터 얻을 수 있고, 이것은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^f(\gamma), x_1^f(\rho) \\ z^f(\gamma), z(\rho) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1(0) - x_1^s \\ z(0) - z^s \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$c = (x_2^i)^{-1}\{[x_2(0) - x_2^s] - [x_2^f(\gamma), x_2^f(\rho)][a, b]^T\} \quad (37)$$

(37),(38) 식으로 부터 전향행렬 F 의 함수인 z 에 의해 하중계수 a,b,c가 매개변수화 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 하중계수는 상태의 과도응답에 영향을 주고, 따라서, 시스템 출력의 과도동작에 영향을 줄 것이다. 시스템의 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$y(t) = C_1 x_1(t) + C_2 x_2(t) \quad \text{---------}(38)$$

(28),(31) 식을 대입하면, 출력은 다음과 같이 나타난다.

$$y(t) = [C_1 x_1^f(\gamma) + C_2 x_2^f(\gamma)]e^{\hat{N}t}a + [C_1 x_1^f(\rho) + C_2 x_2^f(\rho)] * e^{\hat{R}t}b + C_2 x_2^i e^{g\hat{\Sigma}t}c + v \quad \text{------}(39)$$

(23)식으로 부터,

$$C_1 x_1^f(\gamma) + C_2 x_2^f(\gamma) = -Z(\gamma)\hat{N} \quad \text{---------}(40)$$

$$C_1 x_1^f(\rho) + C_2 x_2^f(\rho) = -Z(\rho)\hat{R} \quad \text{----------}(41)$$

이므로, (39)- (41)식에 의해 시스템의 출력은 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = v - Z(v)\hat{N}e^{\hat{N}t}a + Z(\rho)\hat{R}e^{\hat{R}t}b + C_2 x_2^i e^{g\hat{\Sigma}t}c \quad (42)$$

(42)식은 무한근 j와 j, 하중계수를 통한 무한근 g j에 의해 시스템의 과도 응답이 어떻게 영향을 받는가를 보어준다. 그리므로, 하중계수 a,b 는 z 의 함수이고, Gp를 적절히 선택하면 a나 b를 소거할 수 있다. 이러한 방법에 의해 출력으로 부터 유한근의 효과를 제거할 수 있고, 결론적으로 시스템의 과도응답이 개선된다 또한, 진향제어에 의해 시스템의 원하는 출력들 사이의 상호동작을 최소화시킬 수 있다.

III. 시뮬레이션

지금까지 논의한 설계기법을 비행체의 선형화 모델 [4]에 적용시켜 보았다.

상태벡터 x 는 다음과 같다.

x1: 지상으로 부터의 위치오차, [m]

x2: 전방향속도, [m/sec]

x3: pitch 각, [deg]

x4: pitch 각의 변화율, [deg/sec]

x5: 수직속도, [m/sec]

입력벡터 u는 다음과 같다.

u1: spoiler 각, [deg]

u2: 추력에 의한 전방향 가속도, [m/sec]

u3: elevator각, [deg]

출력벡터 y 의 원소는 상태 1,2,3으로 한다.

개루우프 공정게 행렬 A 의 고유치는 ( 0, -0.016 + 0.161i, -0.78+1.031i)이고, 상태 변환 행렬은 다음과 같다.

$$T = T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{--------}(43)$$

변환된 상태, 입력, 출력행렬은 나음과 같다.

$$T^{-1}AT = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.132 & 0.0 & 0.0 & -1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & -.171 & -.054 & 0.0 & 0.076 \\ 0.0 & 0.0 & .049 & -.856 & -1.013 \end{bmatrix} \quad (44)$$

$$\begin{matrix} 0.0 & 0.0 & .029 & 1.053 & .686 \end{matrix}$$

$$T^{-1}B=\begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ .001 & 1.0 & 0.0 \\ 0.442 & 0.0 & -1.665 \\ 0.1575 & 0.0 & -.073 \end{bmatrix} \quad \text{------(45)}$$

$$CT=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{--------(46)}$$

다음과 같은 고유구조를 선택한다.

$$\Sigma=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{--------(47)}$$

만약, 유한근을 다음과 같이 선택 한다면

$\nu_1 = -5$ , $\nu_2 = -4$

$\rho_1 = -.5$ , $\rho_2 = -3$ , $\rho_3 = -1$ ------(48)

고이득 제어기는 제어되는 출력 원소에 부수적인 두개의 측정가능한 상태 (상태4,5)를 얻을 수 있다. 따라서, 내부 루우프 궤환 행렬은 다음과 같이 나타난다.

$$H=\begin{bmatrix} 0, & 0, & 0, & 1, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-------(49)}$$

하중계수 b 를 소개하게끔 전향행렬 F를 선택하면, 다음과 같은 고이득 제어기를 얻을 수 있다.

$$u(t)=g\left\{\begin{bmatrix} -39.84, & 0, & -9.79 \\ -.05, & 1, & -.01 \\ -10.58, & 0, & -5.6 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} e1(t) \\ e2(t) \\ e3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -18, & 0, & -1.27 \\ 0.02, & 3, & -.022 \\ -4.8, & 0, & -2.74 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} z1(t) \\ z2(t) \\ z3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0,0, & .32, & -7.24 \\ 0,0,0, & 0, & -.01 \\ 0,0,0, & .69, & -1.92 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x1(t) \\ x2(t) \\ x3(t) \\ x4(t) \\ x5(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3.62, & 0, & 8.52 \\ .004, & 0, & .01 \\ .96, & 0, & 2.86 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \end{bmatrix}\right\} \quad \text{--------- (50)}$$

$g \to \infty$ 일 때, 이러한 제어기를 적용시킨 결과 출력벡터가 다음과 같이 주어졌다.

$y1(t)=(1-\exp^{\nu} 1t)v1=(1-\exp(-5t))v1$ ------(51)

$y2(t)=(1-\exp(-gt))v2$ ------------(52)

$y3(t)=(1-\exp^{\nu} 2t)v3=(1-\exp(-4t))v3$ -----(53)

이득 매개변수 g=20, step command 입력에 대해 (50) 식으로 정의한 제어법칙을 적용한 결과를 그림 2,3,4에 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 과도 응답 특성을 개선하기 위해 내부 루우프 궤환과 전향경로를 적용하여 공정계의 제어를 시도하여 보았다.

시뮬레이션 결과로 부터 측정 가능한 상태는 정상 상태 특성을 개선 시키고, 전향 경로에 의해 시스템의 과도응답을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로 내부 루우프 궤환에 대한 좀더 나은 고찰과 state obserber를 채용했을 경우에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌


[1] Callier,F.M., "On the Characterization of a Minimal -order Robust Compensation," Int.J.Contr, Vol.30, pp.379-385,1979

[2] Porter,b. and Bradshaw,A., "Design of Linear Multivariable Continuous-time Tracking System Incorperating High-Gain Error-actuated Controllrts," Int.J.Contr, Vol.10, pp.461-469,1979.

[3] Kouvaritakis,B.and Mcfarlane,A.G.J., "Geometric Approach to Analysis and Synthesis of System zeros,Part1.Square Systems, Part2.Non-square Systems," Int.J.Contr, Vol.23, pp.149-181,1976.

[4] Kouvaitakis,H., "Characteristic Frequency-Gain Study of an Automatic Flight Control System," Int.J.Contr, Vol.29, pp.325-358, 1978.


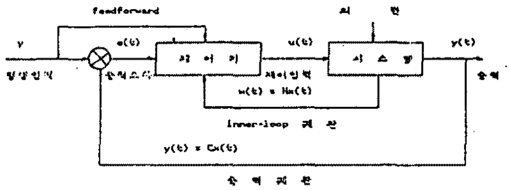


그림 1. 고이득 강건 제어기의 블록선도

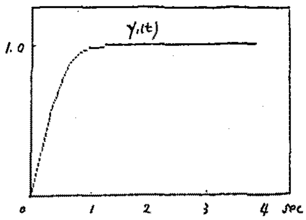


그림 2. 출력 y1(t) 에 대한 그래프

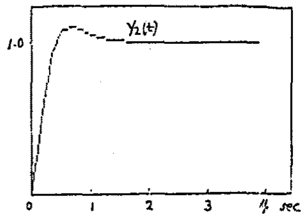


그림 3. 출력 y2(t) 에 대한 그래프

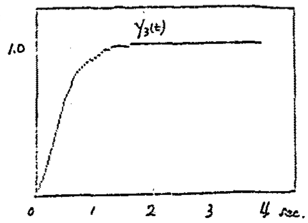


그림 4. 출력 y3(t) 에 대한 그래프