

제어입력 크기제한을 갖는 시스템에서 외란 응답 감소를 위한 이득 스케줄 제어 - 안정화 제어 응용

강민식[#]

Gain Scheduled Control for Disturbance Attenuation of Systems with Bounded Control Input - Application to Stabilization Control

Min Sig Kang[#]

ABSTRACT

In this paper, the gain-scheduled control design proposed in the previous paper has been applied to a target tracking system. In such system, it is needed to attenuate disturbance effectively as long as control input satisfies the given constraint on its magnitude. The scheduled gains are derived in the framework of linear matrix inequality(LMI) optimization by means of the MatLab toolbox. Its effectiveness is verified along with the simulation results compared with the conventional optimum constant gain and the scheduled gain control with constant Q matrix cases.

Key Words : Stabilization (안정화), Input saturation (입력포화), Disturbance (외란), Gain schedule-control (이득 스케줄제어), Linear Matrix Inequality (LMI, 선형행렬부등식)

기호설명

A, B_u, B_w, C_1, D_{11} = system matrices

B_m^e, B_t^e = equivalent motor and turret damping coefficients

J_m^e, J_t^e = equivalent motor and turret inertias

K_k = k -th feedback gain

K_o = stiffness of gear output shaft

N_g, N_p = gear ratios of gear and pinion

Q_k, F_k = controller variable matrices

T_m = motor torque

V_k = Lyapunov function

x, u, w = state variable, control input, and disturbance input

z_∞ = control output

α, β = parameters used for control design

ϵ_k = k -th ellipsoidal space

θ_m, θ_t = motor and turret angles

γ_k = L_2 -gain from w to z_∞

접수일: 2006년 3월 21일; 게재승인일: 2006년 4월 14일

[#] 경원대학교 기계공학과

E-mail mskang@kyungwon.ac.kr Tel. (031) 750-5524

1. 서론

현대의 전차나 장갑차는 생존성 향상을 위해 기동 중 사격 개념으로 운용하고 있다. 따라서 기동 중에도 포신이 표적을 지속적으로 정밀하게 지향토록 하는 안정화가 매우 중요하다. 전차나 장갑차는 포탑과 포신이 각기 독립적으로 구동되는 2-자유도계에 해당되며, 포탑과 포신의 회전 속도가 크지 않아 두 운동 사이의 연성 효과를 무시할 수 있다. 따라서 포탑과 포신 구동계는 각기 독립적인 안정화 제어를 적용하고 있다.¹ 포탑의 경우 전기모터에 의한 토오크가 기어박스를 통해 포탑에 전달되어 회전하는 구조를 갖는다.

포탑의 구동 시스템에 사용할 모터의 용량 선정은 매우 중요하다. 용량이 클수록 좋은 성능을 기대할 수 있으나, 가격 상승의 원인이 되므로, 안정화 성능을 해치지 않는 범위에서 가급적 작은 용량의 모터 선정이 바람직하다. 안정화에서 모터 용량은 안정화 대상인 외란의 크기에 따라 결정되는데, 외란이 설계치보다 크거나 모터의 용량이 외란의 크기에 비해 충분치 못한 경우 모터 용량 제한을 고려한 제어기 설계가 필요하다.

본 논문은 전차의 포탑 안정화 시스템에서 주어진 모터 용량을 효율적으로 사용하여 안정화 성능을 향상시킬 수 있는 제어기 설계 방법에 대한 연구이다. 제어입력 크기의 제한 하에서 안정하고 우수한 제어성능을 얻을 수 있는 제어기 설계방법에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다.²⁻⁴

최근에는 수치해석 방법인 선형행렬부등식(LMI:Linear Matrix Inequality)을 이용하여 주어진 제어입력의 제한조건을 직접 제어기 설계에 고려하여 계의 안정성과 제어성능을 최적화하는 방법이 제시되었다.⁵⁻⁹ 그러나 이 제어기는 모든 외란 조건을 고려하여 설계되므로 강한 보존적 특성을 갖게 되어 가용한 제어입력을 충분히 사용하지 못한다. 이러한 단점을 보완하여 제한된 제어입력을 효과적으로 사용하여 제어성능을 향상시키기 위해 이득 스케줄 제어가 제안되었다.^{10,11} 또한 참고문헌 12에서는 기존의 이득스케줄 제어보다 L_2 -이득을 더 줄일 수 있는 새로운 이득 스케줄 방법이 제안된 바 있다.

본 논문에서는 참고문헌¹²에서 제안된 이득 스케줄 방법과 기존의 방법을 포탑 안정화 시스템에 적용하여, 제안된 방법의 효과를 검증코저 한다.

2. 대부하 표적지향계 모델

대부하 표적지향계는 Fig. 1과 같이 개념적으로 나타낼 수 있다. 포탑은 베어링으로 차량에 조립된다. 포탑 제어계에서 안정화란 차량의 운동에 관계없이 포탑의 절대 선회각을 원하는 각으로 유지시키는 개념이다. 구동원인 전기모터는 포탑에 장치되며, 모터 출력축은 기어박스에 연결되고, 기어박스 출력단에 있는 피니언은 차량에 고정된 링기어와 물려있다. 따라서 모터가 돌면 포탑이 차량과 상대적인 회전을 한다.

Fig. 1을 기준으로 포탑의 운동방정식을 세우면 다음과 같다.¹

$$\begin{bmatrix} J_m^e & 0 \\ 0 & J_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta}_m \\ \ddot{\theta}_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_m^e - B_m^e \\ 0 & B_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\theta}_m \\ \dot{\theta}_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_m \\ \theta_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} T_m \quad (1a)$$

$$\omega = -B_t \dot{\theta}_n - m_t (r_x \ddot{x}_t - r_x \ddot{z}_t) \quad (1b)$$

$$k_{11} = \frac{K_o}{N_g^2}, \quad k_{12} = -\frac{K_o(N_p - 1)}{N_g}$$

$$k_{21} = -\frac{K_o N_p}{N_g}, \quad k_{22} = K_o N_p (N_p - 1)$$

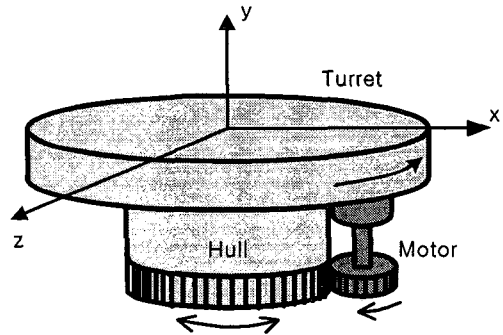


Fig. 1 Schematic diagram of turret driving system

여기서 θ_m 과 θ_t 는 각각 모터와 포탑의 절대적인 회전각을 나타낸다. J_m^e 와 B_m^e 는 각각 모터의 회전각 기준으로 나타낸 모터와 기어박스의 등가 회전관성과 등가 점성마찰계수이며, J_t 와 B_t 는 포탑의 회전관성과 포탑과 차량을 체결하는 베어링의 점성마찰계수이다. 모터의 토오크 T_m 은 기어박스를 통해

전달되는데, 기어박스 출력단에 전달되는 토오크는 기어비만큼 증폭되며, 포탑의 관성은 매우 크므로 기어박스 출력축의 강성은 무시할 수 없다. K_g 는 기어박스 출력축의 강성을 나타낸다. 식(1a)에서 강성행렬의 요소들은 기어박스의 기어비 N_g 와 피니언 기어와 링기어 사이의 기어비 N_p 를 이용하여 식(1b)와 같이 나타낸다. 식(1a)의 우항에서 w 는 포탑에 가해지는 외란 토오크로 식(1b)로 표현된다. 첫 번째 항은 차량 회전에 의해 베어링을 통해 포탑에 전달되는 점성마찰 토오크, 두 번째 항은 포탑 질량불균형과 포탑 원점(베어링 평면과 회전축이 만나는 점)의 직선가속도에 의해 발생하는 외란 토오크이다. 포탑의 무게중심은 포탑 회전축을 기준으로 $(r_x \hat{i} + r_z \hat{k})$ 의 위치에 있는 것으로 가정한다.

여기서 \hat{i} 와 \hat{k} 는 각각 x -방향과 z -방향 단위벡터이다. \ddot{x}_t 와 \ddot{z}_t 는 각각 포탑 회전축의 x -방향과 z -방향 직선가속도이다. 따라서 베어링의 점성마찰과 차량의 기동에서 발생하는 가속도가 포탑 안정화를 저해하는 요인으로 작용함을 알 수 있다.

상태공간벡터를 다음과 같이 정의하고 식(1)을 상태공간방정식으로 나타내면 식(2)와 같다. 본 시스템에서 포탑의 안정화 제어가 목적이므로 제어출력은 포탑의 선회각으로 정한다.

$$\begin{aligned} x &= [\theta_t \quad \dot{\theta}_t \quad \theta_m \quad \dot{\theta}_m] \\ \dot{x} &= Ax + B_u u + B_w w \\ z_\infty &= C_1 x + D_{11} u \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $u = T_m$ 을 나타내며,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_{22}}{J_t} & -\frac{B_t}{J_g} & -\frac{k_{21}}{J_t} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_{12}}{J_m^e} & \frac{B_m^e}{J_m^e} & -\frac{k_{11}}{J_m^e} & -\frac{B_m^e}{J_m^e} \end{bmatrix}, B_u = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J_t} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$B_w = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{J_m^e} \end{bmatrix}, C_1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0], D_{11} = 0$$

만일 모터의 최대 토오크를 T_{\max} , 외란의 최대

크기를 w_{\max} 라 하면, 다음과 같이 제한조건을 정의할 수 있다.

$$|u(t)| \leq T_{\max}, \quad \forall t \geq 0 \quad (3a)$$

$$|w(t)| \leq w_{\max}, \quad \forall t \geq 0 \quad (3b)$$

본 논문에서는 식(2)로 주어진 표적지향계에서 식(3b)로 주어진 외란의 제한 조건에서 식(3a)의 제어입력 제한 조건을 만족하며, 안정하고 외란의 영향을 최소화시켜 안정화 성능을 향상시킬 수 있는 제어기 설계방법을 제시한다. 제어방법으로는 참고 문헌¹²에 제시된 제어이득 스케줄링 제어방법을 적용하며, 시뮬레이션을 통해 제시된 제어기 설계방법의 적용성과 성능을 검증한다.

3. 제어기 설계

스케줄링 제어기 설계방법은 참고문헌¹²의 3가지 방법을 적용하며, 식(2)의 시스템을 대상으로 간단히 요약하면 다음과 같다. 제어기는 식(4)의 상태되먹임제어를 적용한다.

$$u = Kx \quad (4)$$

3.1 고정 제어이득 설계

고정된 상태되먹임 제어이득 K 는 다음 식으로 결정된다.

$$K_1 = F_1 Q_1^{-1} \quad (5)$$

여기서 $Q_1 \in R^{4 \times 4}$ 은 양한정 대칭 행렬이다. 행렬 Q_1 과 행렬 $F_1 \in R^{1 \times 4}$ 은 다음 LMI식에서 γ_1^2 를 최소화하도록 결정된다.

$$\begin{bmatrix} Y + \alpha Q_1 & B_u \\ B_u^T & -\alpha I \end{bmatrix} < 0, \quad \alpha > 0 \quad (6a)$$

$$\begin{bmatrix} Q_1 & F_1^T \\ F_1 & \frac{T_{\max}^2}{w_{\max}^2} \end{bmatrix} > 0 \quad (6b)$$

$$\begin{bmatrix} Y & B_w & Q_1 C_1^T \\ \star & -\gamma_1^2 I & 0 \\ \star & \star & -I \end{bmatrix} < 0 \quad (6c)$$

여기서

$$Y = A Q_1 + Q_1 A^T + B_u F_1 + F_1^T B_u^T$$

$$\begin{bmatrix} Y_k & B_w & Q_1 C_1^T \\ \star & -\gamma_k^2 I & 0 \\ \star & \star & -I \end{bmatrix} < 0 \quad (9b)$$

이 때 w 로부터 z_∞ 까지의 L_2 -이득은 γ_1 보다 작다.

3.2 스케줄 제어이득 설계

제어계의 상태벡터에 따라 제어이득 K 를 변화시키는 스케줄 제어기설계는 설계 매개행렬인 Q 를 고정시키는 종래의 방법과 변화시키는 방법이 있다.

3.2.1 상수 행렬 Q 기반 설계

제어기 식에 포함되는 행렬 Q 를 상수행렬로 하는 스케줄 제어이득을 설계할 수 있다.

우선 다음과 같이 상태변수의 영역을 정의한다.

$$\epsilon_k = \left\{ x : x^T Q_1^{-1} x < \frac{w_{\max}^2}{\beta_k^2} \right\}, \beta_1 = 1 \quad (7)$$

즉, ϵ_k 는 $x^T Q_1^{-1} x = w_{\max}^2 / \beta_k^2$ 로 정의되는 타원체의 내부공간으로 정의되는 상태변수영역을 나타낸다. 제어기 이득은 측정된 상태벡터가 속한 가장 작은 ϵ_k 를 찾은 다음 이 때의 상태피드백 제어이득 K_k 를 취한다. K_k 는 다음 식으로 결정된다.

$$K_k = F_k Q_1^{-1} \quad (8)$$

여기서 $Q_1 \in R^{4 \times 4}$ 은 양한정 대칭 행렬이다. 행렬 Q_1 과 행렬 $F_k \in R^{1 \times 4}$ 은 다음 LMI식에서 γ_k^2 를 최소화하도록 결정된다.

(i) $k = 1$ 일 때

식(6)에서 γ_1 을 최소화하는 Q_1, F_1, K_1 을 구한다.

(ii) $k \geq 2$ 일 때

$$\begin{bmatrix} Q_1 & F_k^T \\ \star & \beta_k^2 \frac{T_{\max}^2}{w_{\max}^2} \end{bmatrix} > 0 \quad (9a)$$

여기서 $Y_k = A Q_1 + Q_1 A^T + B_u F_k + F_k^T B_u^T$

이 때 w 로부터 z_∞ 까지의 L_2 -이득은 γ_k 보다 작다.

3.2.2 변수 행렬 Q 기반 설계

제어기 식에 포함되는 행렬 Q 를 변수행렬로 하여 설계된 제어기 이득은

$$K_k = F_k Q_k^{-1} \quad (10)$$

이며, 타원체의 정의는 식(7)과 달리 다음으로 정의된다.

$$\epsilon_k = \left\{ x : x^T Q_k^{-1} x < \frac{w_{\max}^2}{\beta_k^2} \right\}, \beta_1 = 1 \quad (11)$$

즉, ϵ_k 는 $x^T Q_k^{-1} x = w_{\max}^2 / \beta_k^2$ 로 정의되는 타원체의 내부공간으로 정의되는 상태변수영역을 나타낸다. 제어기 이득은 측정된 상태벡터가 속한 타원체 중에서 L_2 -이득이 가장 작은 ϵ_k 를 찾은 다음 이 때의 상태피드백 제어이득 K_k 를 취한다.

식(10)에서 $Q_k \in R^{4 \times 4}$ 는 양한정 대칭 행렬이다. 행렬 Q_k 와 행렬 $F_k \in R^{1 \times 4}$ 은 다음 LMI식에서 γ_k^2 를 최소화하도록 결정된다.

(i) $k = 1$ 일 때

식(6)에서 γ_1 을 최소화하는 Q_1, F_1, K_1 을 구한다.

(ii) $k \geq 2$ 일 때

$$\begin{bmatrix} Q_k & F_k^T \\ \star & \beta_k^2 \frac{T_{\max}^2}{w_{\max}^2} \end{bmatrix} > 0 \quad (12a)$$

$$\begin{bmatrix} Y_k & B_w & Q_k C_1^T \\ \star & -\gamma_k^2 I & 0 \\ \star & \star & -I \end{bmatrix} < 0 \quad (12b)$$

$$Q_k - \beta_k^2 Q_1 < 0, \beta_k > 1 \quad (12c)$$

$$Y_k = A Q_k + Q_k A^T + B_u F_k + F_k^T B_u^T$$

이 때 w 로부터 z_∞ 까지의 L_2 -이득은 γ_k 보다 작다.

4. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션에서 사용된 시스템계수, T_{max} , w_{max} 는 Table 1과 같다.¹ 표적지향계가 가장 큰 외란을 받는 경우인 범프(bump)코스를 $32km/h$ 로 주행할 때 측정된 데이터를 식(1b)에 대입하여 외란토크를 계산하였다. Fig. 2는 계산된 외란토크이며, $w_{max} = 16.26 [kNm]$ 로 결정되었다. 외란의 스펙트럼 분석 결과 외란토크 w 는 약 $3Hz$ 대역폭을 갖는 유색잡음으로 볼 수 있다.

Table 1 Parameters and their values

Parameter	Symbol	Value
motor+gear inertia	J_m^c	$0.01 [Kgm^2]$
turret inertia	J_t	$56,000 [Kgm^2]$
motor-gear viscous friction	B_m^c	$0.2 [Nms/rad]$
turret viscous friction	B_t	$75 [Nms/rad]$
mass of turret	m_t	$23,000 [Kg]$
position of turret c.g.	r_x, r_z	$0.25m, 0.25m$
stiffness of gear box	K_o	$1,000 [Nm/rad]$
gear ratio of gear box	N_g	30
gear ratio of pinion and lace ring gear	N_p	20
motor torque	T_m	$T_{max} = 30 [Nm]$
disturbance torque	ω	$\omega_{max} = 16.26 [kNm]$

식(6)을 이용하여 고정제어이득 K_1 을 설계하였다. 이 때 $\alpha \in [0.3, 2.9]$ 범위에서 행렬 Q_1 과 F_1 이 존재하였으며, α 가 커질수록 폐회로의 주파수응답이 전체적으로 낮게 나타났다. 따라서 $\alpha = 2.9$ 를 택하여 Q_1 과 K_1 을 구했다. Q 를 상수로 하는 경우와 변수로 하는 경우 스케줄 이득 K_k 를 각각 식(9)와 식(12)를 이용하여 구했다. 이 때 β_k 는 임의의

간격과 개수를 가질 수 있는데, 본 논문에서는 합수 $\beta_k = 1.25^{(k-1)}, k = 2, 3, \dots, 45$ 로 택하였다.

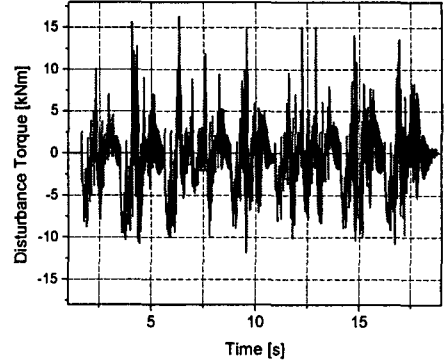


Fig. 2 Time history of disturbance torque

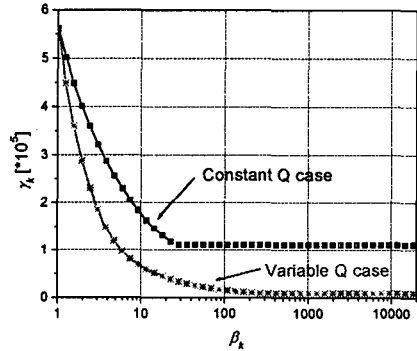
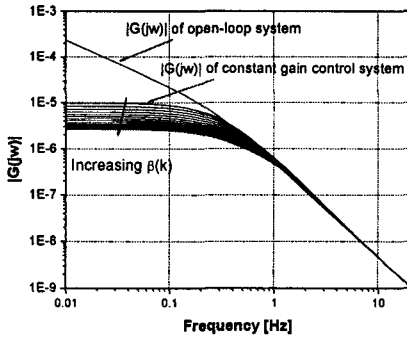
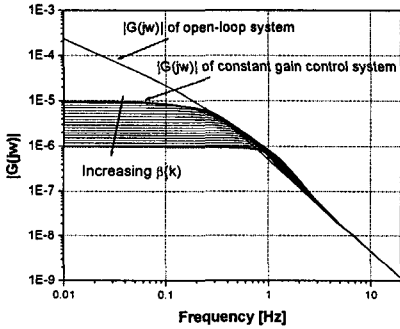


Fig. 3 β_k v.s. γ_k for constant and variable Q's

Fig. 3은 행렬 Q 가 상수인 경우와 변수인 경우 동일한 β_k 에서 얻은 γ_k 를 보인다. 참고문헌¹²의 논의에서와 같이 Q 가 변수인 경우가 동일한 β_k 에서 L_2 -이득이 작았다. L_2 -이득이 작을수록 제어성능의 향상을 기대할 수 있으므로, Q 가 변수인 경우가 상대적으로 제어성능이 우수할 것으로 판단된다. 논의에서와 같이 두 경우 모두 β_k 가 커질수록 γ_k 가 작아진다. β_k 가 어느 한계치보다 커지면 L_2 -이득은 더 이상 감소하지 않는데, 이는 β_k 가 커질수록 고이득 제어가 설계되고 γ_k 가 감소하지만, 주어진 제어입력의 제한 때문에 제어이득 증가에 한계가 존재하기 때문으로 분석할 수 있다.



(a) Constant Q case

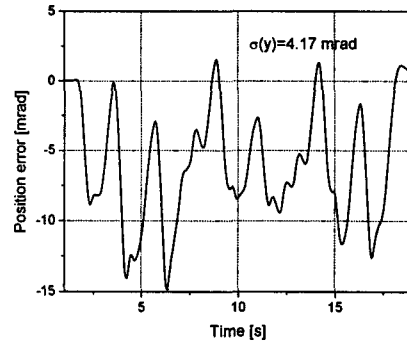


(b) Variable Q case

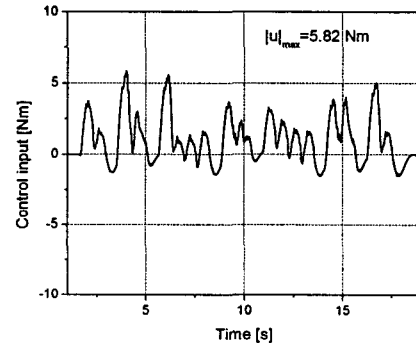
Fig. 4 Magnitude of FRF of closed-loop systems

Fig. 4는 Q 가 상수인 경우와 변수인 경우 스케줄 이득을 적용한 폐회로 시스템에서 외란 w 와 출력 z_∞ 사이의 주파수 응답을 보인다. 두 경우 모두 β_k 가 증가할수록 주파수 응답함수의 크기가 작아지며, 변수인 경우가 상수인 경우에 비해 동일한 β_k 에 대해 그 크기가 작았다. 따라서 변수인 경우가 보다 제어성능을 향상 시킬 것으로 판단된다. Fig. 4(a)와 4(b)에서 고정이득제어로 표시된 부분은 식 (6)에서 결정된 제어를 적용한 경우를 의미한다.

Fig. 5(a)와 5(b)는 식(6)에서 결정된 고정제어이득 K_1 을 적용한 경우 위치오차와 이때의 제어입력을 보인다. 위치오차의 표준편차는 $\delta_z = 4.17mrad$ 이다. 사용된 제어입력의 최대크기는 $5.82Nm$ 로 T_{max} 의 19%로 가용한 제어입력을 충분히 사용하지 못하고 있음을 알 수 있다.



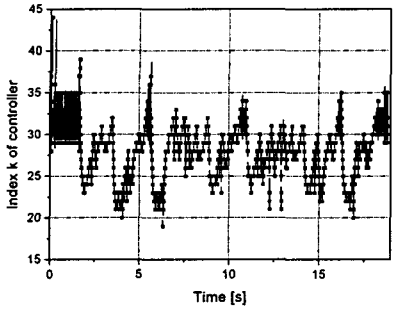
(a) Position error



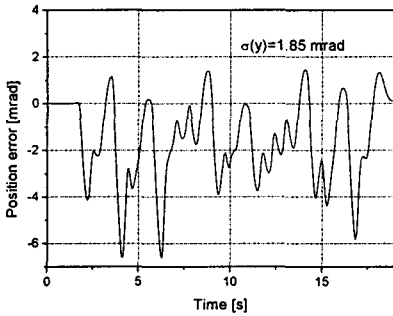
(b) Control input

Fig. 5 Position error and control input of fixed gain control

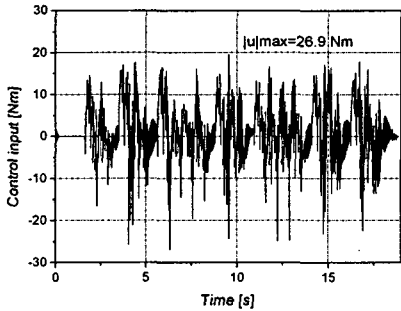
Fig. 6(a)는 Q 가 상수인 경우 스케줄 제어를 적용했을 때 사용된 제어이득 번호 k 로, 계의 상태 벡터에 따라 제어이득이 변한 것을 알 수 있으며, $k=18$ 이상의 제어이득이 적용되었다. Fig. 4(a)에서와 같이 고이득이 될 수록 외란의 대역폭에서 주파수 응답함수가 작아지므로, 고정제어이득을 적용한 경우에 비해 높은 제어성능을 기대할 수 있다. Fig. 6(b)는 위치 오차로 $\delta_z = 1.85mrad$ 이며, 사용된 제어입력의 최대크기는 $26.9Nm$ 로 T_{max} 의 90%로 고정 이득의 경우에 비해 제어입력은 많이 커졌으며, 위치 오차는 고정이득 제어시의 44% 수준으로 감소했음을 알 수 있다.



(a) Index of applied gain



(b) Position error

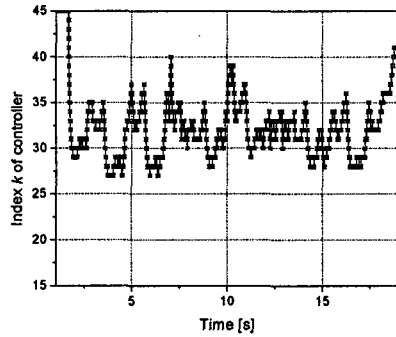


(c) Control input

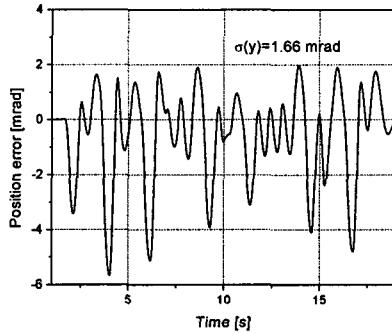
Fig. 6 Scheduling control - constant Q case

Fig. 7(a)는 Q 가 변수인 경우 스케줄 제어를 적용했을 때 사용된 제어기이득 번호 k 로 $k=27$ 이상의 제어기 이득이 적용되었으며, 이 때 응답 Fig. 7(b)에서 $\sigma_z = 1.66 \text{ mrad}$ 로 고정이득 제어시의 40% 수준으로 감소하였으며, 제어입력 Fig. 7(c)는 최대 27.3 Nm 로 T_{\max} 의 91% 수준이었다. Fig. 6(c)와 7(c)에서와 같이 제어입력은 제어이득의 변화에

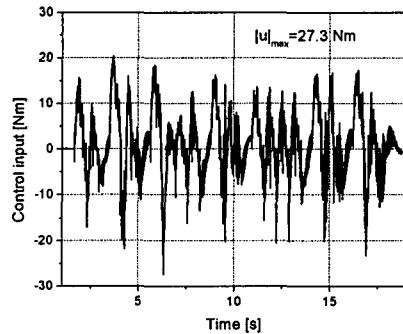
의해 고주파수의 제어입력 성분이 나타났다.



(a) Index of applied gain



(b) Position error



(c) Control input

Fig. 7 Scheduling control - variable Q case

이상의 결과로부터 참고문헌¹²에서 제안한 스케줄 제어방법은 제어입력 크기에 대한 제한 조건을 만족하고; 고정형 제어기에 비해 제어 성능이 우수하며, 기존의 스케줄링 제어에 비해 향상된 성능을

얻을 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

포탑 안정화계는 차량의 기동으로 인해 발생된 외란의 영향을 받으며, 구동원인 모터의 용량 제한 때문에 제어입력 크기의 제한을 갖는다. 따라서 주어진 제어입력의 제한 조건 하에서 최적의 안정화 성능을 발휘할 수 있는 제어가 필요하다. 이를 위해 선행 연구에서 제안된 이득 스케줄 제어 방법을 포탑 안정화 제어에 적용하였다.

시뮬레이션 결과 선행연구에서 제안된 제어이득 스케줄 제어기는 폐회로 안정성과 제어입력의 크기 제한 조건을 만족하였다. 제안된 제어기를 고정이득제어와 행렬 Q 를 상수로 하는 스케줄제어와 비교한 결과 L_2 -이득과 폐회로 주파수응답은 가장 작았으며, 동일한 외란에 대해 제어입력의 크기는 커지고 안정화 오차는 작아짐을 확인하였다.

따라서 제안된 스케줄제어는 포탑 안정화 성능을 향상시키는데 효과적임이 검증되었으며, 일반적인 입력 제한 시스템에서 기존의 제어방법에 비해 향상된 제어 성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2003-000-10857-0) 지원으로 이루어졌으며, 재단의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kang, M. S., Lyu, J., Seok, H. D. and Lim, J. K., "Analysis of Stabilization Error Sources for Main Battle Tank, Proceedings of Seminar for Ground Weapon Systems Development," pp. 12-15, 2004.
2. Bernstein, D. S. and Michel, A. N., "A Chronological Bibliography on Saturating Actuators," Int. J. of Robust and Nonlinear Control, Vol. 5, pp. 375-380, 1995.
3. Stoorvogel, A. A. and Saberi, A. (Eds.), Special Issue on "Control Problems with Constraint," Int. J. of Robust and Nonlinear Control, Vol. 9, pp. 583-734, 1999.
4. Nguyen, T. and Jabbari, F., "Disturbance Attenuation for LPV Systems with Bounded Inputs," Proc. of the American Control Conference, pp. 1543-1547, 1998.
5. Nguyen, T. and Jabbari, F., "Disturbance Attenuation for Systems with Input Saturation: An LMI Approach," IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 44, No. 4, pp. 852-857, 1999.
6. Nagpal, K., Abedor, J. and Poolla, K., "An LMI Approach to Peak-Peak Gain Minimization: Filtering and Control," Proc. of the American Control Conference, 1994.
7. Boyd, S., El Ghaoui, L., Feron, E. and Balakrishnan, V., "Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory," SIAM Books, Philadelphia, pp. 742-746, 1994.
8. Kim, Y. B. and Byeon, J. H., "Robust Decoupling Control of Ship Propulsion System with CPP," J. of KSPE, Vol. 15, No. 9, pp. 33-42, 1998.
9. Keh, J. E. and Lee, M. H., "Robust Controller Design for a Stabilized Head Mirror," Int. J. of Precision and Manufacturing, Vol. 3, No. 4, pp. 78-86, 2002.
10. Srivastava, S. and Jabbari, F., "Scheduled Controllers for Disturbance Attenuation of Systems with Bounded Inputs," Proc. of the American Control Conference, pp. 735-739, 2000.
11. Kose, I. E. and Jabbari, F., "Scheduled Controllers for Linear Systems with Bounded Actuators," Automatica, Vol. 39, No. 8, pp. 1377-1387, 2003.
12. Kang, M. S., "Gain Scheduled Control for Disturbance Attenuation of Systems with Bounded Control Input - Theory," J. of KSPE, March, 2006, Submitted.