

계수조건부 LMI를 이용한 동시안정화 LQ 최적제어기 설계

Rank-constrained LMI Approach to Simultaneous Linear Quadratic Optimal Control Design

김 석 주*, 천 중 민, 김 중 문, 김 춘 경, 이 중 무, 권 순 만

(Seog-Joo Kim, Jong-Min Cheon, Jong-Moon Kim, Chun-Kyung Kim, Jong-Moo Lee, and Soomnam Kwon)

Abstract : This paper presents a rank-constrained linear matrix inequality(LMI) approach to simultaneous linear-quadratic(LQ) optimal control by static output feedback. Simultaneous LQ optimal control is formulated as an LMI optimization problem with a nonconvex rank condition. An iterative penalty method recently developed is applied to solve this rank-constrained LMI optimization problem. Numerical experiments are performed to illustrate the proposed method, and the results are compared with those of previous work.

Keywords : Linear Matrix Inequality(LMI), static output feedback(SOF), penalty function method, simultaneous stabilization, LQ optimal control

I 서론

동시안정화 최적제어 문제는 유한개의 선형 시불변 시스템에 대해서 주어진 목적함수를 최소화시키는 한 개의 최적제어기를 설계하는 것을 말한다. 대표적인 예가 여러 운전 모드를 가지는 플랜트를 제어하는 하나의 제어기를 설계하는 것이다. 또한 비선형 시스템을 여러 운전점에서 선형화하고 이를 모두 제어할 수 있는 하나의 제어기를 설계하는 문제도 흔히 접할 수 있는 문제이다.

동시안정화 최적제어기 문제는 비볼록(nonconvex)으로 해석적인 방법으로는 풀 수 없으며 또한 수치적으로도 다항시간으로 풀 수 있는 알고리즘이 없다는 것이 증명되어 있다 [1]. 따라서 컴퓨터를 이용하는 수치적인 방법이 많이 제안되었으며 그 중에는 최근 많이 연구되고 있는 선형행렬부등식(Linear Matrix Inequality; LMI)을 이용한 방법[2-4]도 있다.

최근에는 전역적 수렴성이 보장되는 비평활 최적화[5]나 다방향 탐색법[6]을 이용한 방법도 제안되었지만 이들 알고리즘을 일반 산업현장 설계자들이 이용하기에는 매우 어렵고 복잡하다.

본 논문에서는 반복 LMI법[2]과 같이 비교적 간단하면서도 효율적인 방법으로 동시안정화 최적제어기를 설계하는 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 최근 연구된 계수조건부 LMI를 이용한 동시안정화 제어기 설계법[7]을 동시안정화 최적제어기로 확장한 결과로 볼 수 있다.

본 논문에서 사용하는 주요 표기법은 다음과 같다. $\mathbb{R}^{n \times m}$, \mathbb{S}^n 은 각각 $n \times m$ 행렬과 $n \times n$ 대칭행렬의 집합을 나타낸다. I_n 은 $n \times n$ 단위행렬을 나타내고 A^T 는 행렬 A 의 전치(transpose)행렬을, $\text{tr}(A)$ 와 $\text{rank}(A)$ 는 각각 행렬

A 의 대각합(trace)과 계수(rank)를 나타낸다. $A > 0$ (또는 $A \geq 0$)은 행렬 A 가 대칭이고 양한정(positive definite)(또는 양반한정: positive semidefinite)이라는 것을 표시한다. 또한 $(\star)^T A X$ 는 $X^T A X$ 를 나타낸다.

II 동시안정화 최적제어

이 장에서는 먼저 새로운 계수조건부 LMI로 표현되는 단일 시스템의 정적출력채환(Static Output Feedback; SOF) 최적제어기 문제에 대해서 살펴보고 이를 동시안정화 최적제어기에 적용하는 방법에 대해서 서술한다.

다음과 같은 연속 선형 시불변 시스템에 대해서 생각해 보자.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^m$, $y \in \mathbb{R}^p$ 는 각각 시스템의 상태벡터, 입력벡터 및 출력벡터이고 행렬 (A, B, C) 는 주어지는 시스템 데이터이다. 이때 SOF 선형 이차형식 (Linear Quadratic: LQ) 최적제어기 설계 문제는 $u = Ky$ 의 제어기로 시스템 (1)이 다음과 같은 목적함수(또는 평가지표)를 최소화시키면서

$$J = \mathbb{E} \left[\int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \right] \quad (2)$$

페루프 시스템을 안정화시키는 상수이득 K 를 구하는 것으로 정의된다. 즉, 모든 임의의 초기조건 $x(0)$ 로부터

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbb{E}[x(t)x(t)^T] = 0$$

를 만족시키면서 (2)의 목적함수를 최소화시키는 SOF 제어기를 구하는 것이 목적이다. 여기서 $\mathbb{E}[\cdot]$ 는 기대치 연산 기호이고 $\mathbb{E}[x(0)] = 0$, $\mathbb{E}[x(0)x(0)^T] = I_n$ 로 가정한다. 또한 상태변수와 입력의 하중행렬은 $Q \geq 0$, $R > 0$ 으로 가정한다. 여기서 SOF 문제만을 언급한 것은 일반적인 저장된

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 7. 23., 채택확정 : 2007. 10. 16.

김석주, 천중민, 김중문, 김춘경, 이중무, 권순만 : 한국전기연구원 계측제어그룹

(sjkim@keri.re.kr/jmcheon@keri.re.kr/jmkim@keri.re.kr/ckkim@keri.re.kr/jmlce@keri.re.kr/smk@keri.re.kr)

제어기 설계문제가 시스템 확장법(system augmentation)을 이용하면 SOF 문제로 변환될 수 있기 때문이다.

다음 보조정리 1은 단일 연속 시불변 선형시스템에 대해서 본 논문에서 제안하고 있는 계수조건부 LMI로 표현되는 SOF LQ 제어기 설계에 관한 것이다.

보조정리 1: 선형 시불변시스템 (1)을 안정화키면서 LQ 목적함수 (2)를 최소화시키는 SOF 제어기 $u = Ky$ 의 설계는 다음과 같은 계수조건부 LMI 최적화 문제가 된다. 즉, 다음 (3)과 (4)의 LMI와 계수조건을 만족하는 $W \in \mathbb{S}^{m+p}$, $W \geq 0$, $P \in \mathbb{S}^n$, $P > 0$, $\mu > 0$ 에 대해서 Lyapunov 행렬 P 의 대각합을 최소화시키는 문제가 된다.

$$\min \text{tr}(P) \quad \text{s.t.} \quad \begin{bmatrix} PA + A^T P + Q & PB \\ B^T P & R \end{bmatrix} < (\star)^T W \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{rank}(W) = m \quad (4)$$

여기서 W 는 다음과 같이 주어지고

$$W = \begin{bmatrix} X & Y \\ Y^T & \mu I_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

(3)과 (4)를 만족하는 W 가 얻어지면 SOF 최적제어기 이득 K 는 다음과 같다.

$$K = -Y/\mu \quad (6)$$

증명: 잘 알려진 바와 같이 시스템 (1)의 페루프 시스템이 안정화하면서 목적함수 (2)를 최소화시키는 조건은 Lyapunov 함수를 $x^T P x$ 로 놓으면

$$\frac{d}{dt}(x^T P x) + x^T Q x + u^T R u < 0$$

이 $u = Ky = KCx$ 를 만족하는 모든 u, x 에 대해서 성립해야 한다. 여기에 Finsler의 정리를 적용하면 다음과 같이 한 개의 행렬부등식으로 쓸 수 있고

$$\begin{bmatrix} PA + A^T P + Q & PB \\ B^T P & R \end{bmatrix} < \mu (\star)^T \begin{bmatrix} K^T K & -K \\ -K^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ 0 \end{bmatrix}$$

행렬 W 를 (5)와 같이 정의하면 (3), (4)를 얻을 수 있다. □

이 방법의 장점은 계수조건이 슬랙행렬인 W 에 주어지기 때문에 동시안정화 제어기와 같이 다수의 플랜트가 있는 경우에 각각의 플랜트마다 다른 Lyapunov 함수를 사용할 수 있다는 것이다. 결과적으로는 플랜트마다 다른 Lyapunov 행렬을 사용함으로써 해의 보수성(conservatism)을 줄일 수 있다. 또한 행렬 Y 가 이득행렬 K 와 직접 관계가 있기 때문에 이득행렬에 분산제어(decentralized control)등과 같은 구조적 제약이 있을 경우에도 쉽게 사용이 가능하다는 것이다.

이제 보조정리 1을 동시최적화 제어기 문제에 적용하여 위해서 다음과 같은 N 개의 선형 시불변 시스템을 생각해 보자.

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= A_i x_i + B_i u_i \\ y_i &= C_i x_i, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $(A_i, B_i, C_i, D_i), i = 1, \dots, N$ 이 N 개의 플랜트를 나타내고 있다. 이때 다음과 같은 LQ 목적함수를 최소화시키는 하나의 SOF 제어기 $u_i = Ky_i$ 를 설계하는 것이 동시안정화 최적제어기 설계 문제이다.

$$\min \sum_{i=1}^N J_i \quad (8)$$

$$J_i = \mathbb{E} \left[\int_0^\infty (x_i^T Q_i x_i + u_i^T R_i u_i) dt \right], \quad i = 1, \dots, N$$

다음 보조정리 2는 보조정리 1을 동시안정화 최적제어기 문제로 확장한 것이다.

보조정리 2: 선형 시불변 시스템 (7)을 안정화키면서 목적함수 (8)을 최소화시키는 SOF 제어기 설계 문제는 다음을 만족하는 $W \in \mathbb{S}^{m+p}$, $W \geq 0$, $P_i \in \mathbb{S}^n$, $P_i > 0$ ($i = 1, \dots, N$), $\mu > 0$ 이 존재하면서 P_i 의 대각합의 합을 최소화시키는 문제가 된다.

$$\min \sum_{i=1}^N \text{tr}(P_i) \quad \text{s.t.}$$

$$\begin{bmatrix} P_i A_i + A_i^T P_i + Q_i & P_i B_i \\ B_i^T P_i & R_i \end{bmatrix} < (\star)^T W \begin{bmatrix} C_i & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\text{rank}(W) = m \quad (10)$$

여기서도 W 는 (5)의 형태를 가지며 단일 제어기의 이득행렬 K 는 (6)으로 주어진다.

증명: 만약 (6)의 시스템 모두를 제어할 수 있는 한개의 SOF LQ 제어기가 존재한다면 각각의 플랜트에 대해서

$$\begin{bmatrix} P_i A_i + A_i^T P_i + Q_i & P_i B_i \\ B_i^T P_i & R_i \end{bmatrix} < \mu_i (\star)^T \begin{bmatrix} K_i^T K_i & -K_i \\ -K_i^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_i \\ 0 \end{bmatrix}$$

를 만족하는 $P_i > 0, \mu_i > 0$ 가 존재해야 하고 $\mu = \max(\mu_i)$ 로 정하면 (9)와 (10)을 만족하는 한개의 행렬 W 를 구할 수 있다. □

보조정리 2는 플랜트마다 다른 Lyapunov 행렬을 사용함으로써 해의 보수성을 줄일 수 있는 반면에 행렬 W 에 부가되어 있는 계수조건으로 비블록 LMI 최적화 문제가 된다. 비블록 LMI 최적화 문제는 대단히 풀기 어려운 문제로 효율적인 알고리즘을 찾기 위해 현재도 많은 연구자들이 노력하고 있다.

III. 페널티 함수법과 계수조건부 LMI 문제

페널티 함수를 이용하여 계수조건이 있는 LMI 최적화 문제를 푸는 방법은 최근 제안되었으며[8,9] 다음과 같은 형태의 문제를 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} \min & \quad c^T x \\ \text{s.t.} & \quad x \in \Omega \\ & \quad \text{rank}(W) = r \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 x 는 구하고자 하는 변수(앞에서의 상태변수와는 다름)이고 $W(x)$ 는 x 에 관한 아핀(affine) 함수이며 Ω 는 LMI로 표현되는 볼록집합이다.

페널티 함수법(Penalty Function Method; PFM)은 문제 (11)에서 계수조건을 만족할 때만 영이 되고 나머지 경우에는 영보다 큰 값이 나오는 페널티 함수를 이용하여 문제 (11)을 계수조건이 없는 LMI 최적화 문제로 바꾸고 기존의 LMI 패키지를 이용하여 계수조건이 없는 문제의 해를 순차적으로 구함으로써 문제 (11)의 해를 얻는 방법이다.

PFM은 전역적 수렴성이 보장되지 않지만 여러 경우에 적용한 결과 매우 실용적인 알고리즘이란 것을 알 수 있다 [7-9]. 알고리즘에 관한 자세한 사항은 문헌 [9]를 참조하기 바란다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안하고 있는 동시안정화 최적제어기 설계법의 효용성을 입증하기 위하여 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. LMI 최적화 문제는 SeDuMi 패키지[10]를 이용하였으며 사용자 인터페이스로는 YALMIP[11]를 사용하였다. 계산 결과는 Lam 등[2]의 ILMI(Iterative LMI)법과 비교하였다.

예제 1: 이 문제는 F4E 전투기로 4개의 운전조건에서 LQ 최적 상태궤환제어기를 설계하는 문제이다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} -0.9896 & 17.41 & 96.15 \\ 0.2648 & -0.8512 & -11.89 \\ 0 & 0 & -30 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} -97.78 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -0.6607 & 18.11 & 84.34 \\ 0.0820 & -0.6587 & -10.81 \\ 0 & 0 & -30 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} -272.2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -0.6607 & 18.11 & 84.34 \\ 0.0820 & -0.6587 & -10.81 \\ 0 & 0 & -30 \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} -272.2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} -0.6607 & 18.11 & 84.34 \\ 0.0820 & -0.6587 & -10.81 \\ 0 & 0 & -30 \end{bmatrix}, B_4 = \begin{bmatrix} -272.2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

이때 목적함수의 하중행렬은 $Q_i = I, R_i = 1, i = 1, \dots, 4$ 이고 시스템의 출력행렬은 $C_i = I_3, i = 1, \dots, 4$ 가 된다.

예제 1에 대해서 제안한 방법과 ILMI법과의 결과를 비교한 것을 표 1에 나타냈다. 표 1의 결과를 ILMI법은 75번의 반복횟수 만에 얻었고 본 논문에서는 30번 만에 얻었다.

예제 2: 이 문제는 시변 매개변수를 가지는 선형시스템으로 전달함수는 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{s + \sqrt{\theta} + 1}{s^2 + (\theta^2 - 10)s + 3\theta + 11}, 3 \leq \theta \leq 11$$

표 1. 예제 시스템 1에 대한 결과 비교.

Table 1. Comparison of computation results for example 1.

	ILMI	제안한 방법
$\text{tr}(P_1)$	2.5046	2.7662
$\text{tr}(P_2)$	9.6217	9.8243
$\text{tr}(P_3)$	14.068	13.9743
$\text{tr}(P_4)$	5.2928	5.4089
ΣJ_i	31.4871	31.973

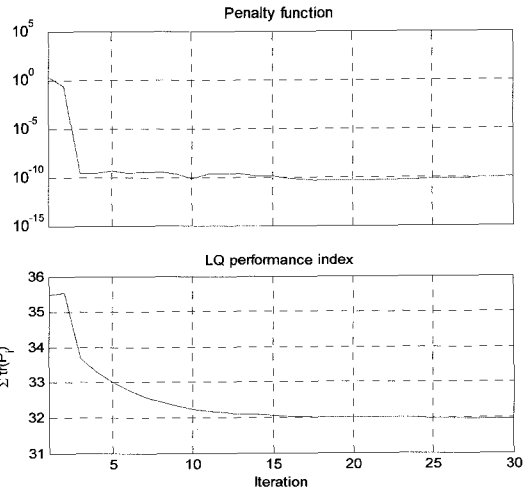


그림 1. 예제 시스템 1에 대한 PFM의 계산 특성.

Fig. 1. Computational behavior of the PFM for example 1.

이 시스템의 매개변수 $\theta_0 = 7, \theta_1 = 3, \theta_2 = 11$ 의 3개의 운전점에서 선형화한 다음 플랜트에 대해서

$$A_1 = \begin{bmatrix} -39 & 1 \\ -32 & 0 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 3.646 \end{bmatrix}, C_1 = [1 \ 0]$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -20 & 0 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.732 \end{bmatrix}, C_2 = [1 \ 0]$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -111 & 1 \\ -44 & 0 \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 4.317 \end{bmatrix}, C_3 = [1 \ 0]$$

$R_i = 10, Q_i = 0.1 I_2 (i = 0, 1, 2)$ 의 하중함수를 가지는 SOF LQ 제어기를 설계하였으며 결과를 표 2에 표시하였다. 이 경우 제안한 방법으로 $K = -2.0542$ 를 얻었으며 ILMI와 PFM 모두 5번 만에 해를 구하였다.

예제 2의 경우도 ILMI와 비교하여 LQ 평가지표는 거의 비슷하다는 것을 알 수 있다.

예제 3: 이 예제는 2개의 입력을 가지는 가스 압소버(gas absorber)로 플랜트의 시스템 행렬은 다음과 같으며 설계하고자 하는 최적제어기의 운전점은 5개로 변수는 표 3과 같다.

표 2. 예제 시스템 2에 대한 결과 비교.

Table 2. Comparison of computation results for example 2.

	ILMI	제안한 방법
$\text{tr}(P_1)$	0.6295	0.6330
$\text{tr}(P_2)$	22.1089	22.1044
$\text{tr}(P_3)$	0.3214	0.3226
ΣJ_i	23.0597	23.0600

표 3. 예제 시스템 3의 운전점.

Table 3. Operating points for example 3.

k	1	2	3	4	5
L_k	40.8	35.8	35.8	45.8	45.8
G_k	66.7	61.7	71.7	71.7	61.7

표 4. 예제 시스템 3에 대한 결과 비교.

Table 4. Comparison of computation results for example 3.

	ILMI	제안한 방법
$\text{tr}(P_1)$	4.8705	4.8707
$\text{tr}(P_2)$	5.3721	5.3719
$\text{tr}(P_3)$	4.8689	4.8680
$\text{tr}(P_4)$	4.4534	4.4538
$\text{tr}(P_5)$	4.8477	4.8492
ΣJ_i	24.4126	24.4137

$$A = \begin{bmatrix} b & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a & b & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & b & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & b & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a & b & c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b & c \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix}$$

$$a = \frac{L_k}{H\alpha + h}, b = -\frac{L_k + G_k\alpha}{H\alpha + h}, c = \frac{G_k\alpha}{H\alpha + h}$$

이 시스템에 대한 최적제어기 설계 결과를 표 4에 표시하였으며 설계된 이득은 다음과 같다. 이 경우 ILMI는 2번, PFM은 3번 만에 표 4의 결과를 얻었다.

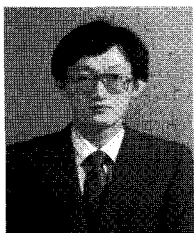
$$K = \begin{bmatrix} 0.5257 & 0.3149 & 0.2037 & 0.1331 & 0.0791 & 0.0322 \\ -0.0198 & -0.0652 & -0.1214 & -0.1888 & -0.2712 & -0.3801 \end{bmatrix}$$

이상의 수치적 예제에서 보면 ILMI법과 제안한 방법은 비슷한 LQ 평가지표를 가지는 것을 알 수 있다. 하지만 ILMI법이 한 번의 반복에 두 번의 LMI 문제를 푸는 것을 고려하면 계산시간 면에서 본 논문의 방법이 다소 유리하다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

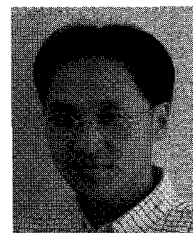
본 논문에서는 동시안정화 최적제어기 설계에 대해서 연구하였다. 동시안정화 최적제어기 설계를 위해서 새로운 형태의 LMI 조건을 제안하였고 이를 반복 페널티 법을 이용하여 해를 구하였다. 제안된 방법과 기존의 방법(ILMI)을 시뮬레이션으로 비교한 결과 제시된 방법으로 충분히 효용성이 입증되었다.

향후에는 제안한 방법으로 대형 시스템이나 구조적 제약이 있는 시스템에 대한 수치적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.



김 석 주

1984년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(박사). 1987년~현재 한국전기연구원 계측제어그룹. 관심분야는 강인제어, 실시간 제어.



천 종 민

1973년 12월 4일생. 1996년 부산대학교 전기공학과 졸업(학사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기연구원 계측제어연구그룹 연구원. 관심분야는 지능제어, 비선형제어, 고장 진단.

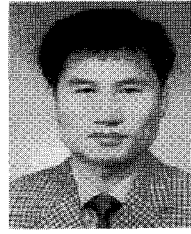
참고문헌

- [1] V. D. Blondel and J. N. Tsitsiklis, "A survey of computational complexity results in systems and control," *Automatica*, vol. 36, no. 9, pp. 1249-1274, 2000.
- [2] J. Lam and Y. Y. Cao, "Simultaneous linear-quadratic optimal control design via static output feedback," *Int. J. Robust and Nonlinear Control*, vol. 9, pp. 551-558, 1999.
- [3] R. A. Luke, P. Dorato, and C. T. Abdallah, "Linear-quadratic simultaneous performance design," *In Proc. Amer. Control Conf.*, pp. 3602-3605, 1997.
- [4] Y. He and Q.-G. Wang, "An improved ILMI method for static output feedback control with application to multivariable PID control," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 51, no. 10, pp. 1678-1683, 2006.
- [5] P. Apkarian and D. Noll, "Nonsmooth H_∞ synthesis," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 51, no. 1, pp. 71-86, 2006.
- [6] P. Apkarian and D. Noll, "Controller design via nonsmooth multi-directional search," *SIAM J. on Control and Optimization*, vol. 44, no. 6, pp. 1923-1949, 2006.
- [7] S. J. Kim, Y.-H. Moon, and S. M. Kwon, "Simultaneous stabilization by static output feedback: a rank constrained LMI approach," *In Proc. Conf. Decision and Control*, pp. 5162-5167, 2006.
- [8] S. J. Kim, Y. H. Moon, S. Kwon, and K. H. Kim, "Rank-constrained LMI approach to mixed H_2/H_∞ static output feedback controllers," *Preprints of the 16th IFAC World congress*, 2005.
- [9] S. J. Kim and Y. H. Moon, "Structurally constrained H_2 and H_∞ control: A rank-constrained LMI approach," *Automatica*, vol. 42, no. 9, pp. 1583-1588, 2006.
- [10] J. F. Sturm, "Using SEDUMI 1.02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones," Available from <http://fewcal.kub.nl/~sturm>.
- [11] J. Lofberg, "YALMIP 3," Available from <http://control.ee.ethz.ch/~joloef>.



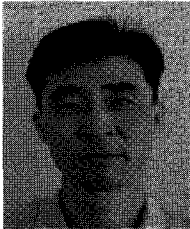
김 종 문

1988년 인하대학교 전기공학과 졸업(학사). 1990년 인하대학교 전기공학과 졸업(석사). 2005년 부산대학교 전기공학과 졸업(박사). 관심분야는 강인제어, 자기부상 시스템 제어.



김 춘 경

1985년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~현재 한국전기연구원 계측제어그룹. 관심분야는 강인제어, 제어기 구현.



이 중 무

1983년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년~현재 한국전기연구원 계측제어그룹. 관심분야는 전력전자, 제어시스템 설계.



권 순 만

1982년 부산대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 Washington University 졸업(박사). 1984년~현재 한국전기연구원 계측제어그룹 그룹장. 관심분야는 신호처리, 무선통신, 제어시스템.