

논문 2007-44SC-3-3

조준경안정화시스템의 인식과 제어

(Identification and Control of Command Panoramic Sight System)

김대운*, 전순용**

(Daewoon Kim and Soonyong Cheon)

요약

조준경이 장갑차 주행에 의한 진동 등을 포함한 온갖 비선형적인 외란이 가해지는 상황에서 표적에 대해 조준선을 유지하도록 제어하는 시스템이 조준경 안정화 시스템이다. 본 논문에서는 이 조준경 안정화 시스템에 대해 시스템 인식 알고리즘의 하나인 순환최소자승법을 이용하여 시스템 파라미터를 구하여 안정화 시스템을 인식하여 모델링하였으며 이렇게 구해진 모델을 제어하기 위해 지식기반제어기인 퍼지제어기 및 퍼지 PI이득조정 제어기를 설계하였다. 또한 비선형적인 잡음을 추가한 상황에서 현재 차기보병전투장갑차의 조준경 안정화 시스템의 제어기로 사용하고 있는 Lead PI제어기와 설계된 제어기의 성능을 비교하는 시뮬레이션을 수행하여 그 성능을 확인하였다.

Abstract

Sight Stabilization system is the control system to preserve Line of Sight for the targets though many nonlinear disturbances and vibrations are generated. In this paper, we identified Stabilization system using RLS algorithm, one of the system identification algorithm and found out the modeling of system. Considering nonlinear operational condition this paper proposes two Knowledge-base controllers - Fuzzy controller, Fuzzy PI Gain Scheduling controller, and simulates the performances of proposed controllers compare with Lead PI controller being used in Sight system of NFIV.

Keywords : Sight Stabilization(조준경 안정화), Identification(인식), RLS(최소순환자승법), Fuzzy Controller (퍼지제어기), Fuzzy PI Gain Scheduling(퍼지 PI이득조정)

I. 서론

현대의 최신 주력 전차 및 장갑차량 등 주요무기 체계에서 표적의 신속한 관측, 추적 유지 및 사격의 정확성은 곧 생존성의 거의 전부를 결정한다고 할 만큼 그 중요성이 크다. 이에 따라 이러한 성능을 향상시키고자 하는 연구가 끊임없이 진행되어 주행에 의한 진동 및 운용에 따른 기타 외란에도 불구하고 정확하고 안정된 표적 관측 및 조준선(LOS : Line of Sight)을 유지하는 일이 가능해졌다.

이와 같이 조준경 안정화 시스템은 전차 및 장갑차가

주행 시 발생하는 노면에 의한 진동, 장착된 포의 발사로 인한 발사충격, 기타 장비의 여러 운용환경 등으로 인해 발생하는 온갖 비선형적인 외란에 대해서도 조준선과 표적을 정확하게 일치시키고, 조준경의 관측선을 안정화 시켜 지속적으로 표적을 관측할 수 있게 하는 장비이다.^{[1][2]}

본 논문에서는 이러한 조준경 안정화 시스템을 인식알고리즘을 이용하여 모델링한다. 또한 모델링된 plant에 비선형적인 잡음을 추가하고 이 잡음의 제거 성능의 관점에서 지식기반제어기인 퍼지제어기(Fuzzy Controller) 및 퍼지PI이득조정제어기(Fuzzy PI Gain Scheduling Controller)를 설계하고 현재 실제 장갑차의 조준경안정화 시스템에서 사용하고 있는 Leda PI 제어기와 비교하여 그 성능을 확인하였다.

* 국방기술품질원
(Defense Agency for Technology and Quality)

** 동양대학교
(DongYang University)

접수일자: 2006년8월10일, 수정완료일: 2007년4월20일

II. 본 론

1. 조준경 안정화 시스템의 안정화모드

조준선 안정화 시스템은 주행으로 인한 진동 및 각종 외란에도 불구하고 움직이는 목표물을 관측하고 관측된 목표물을 흔들림 없이 지향하게 하는 역할을 수행한다.

이 시스템은 고장 없이 정상적으로 운용되는 상황에서 안정화 모드로 운용되며 이 안정화 모드는 제어기능과 안정화 기능으로 다시 나뉜다.

제어기능은 운용자가 원하는 위치로 이동하기 위해 운용자 핸들로 구동 입력 신호를 주는 경우로 조준경을 통하여 목표물을 관측하면서 관측선과 관측물의 오차를 제거하거나 움직이는 목표물을 추적하기 위해 운용자 핸들로써 자이로에 속도 명령신호를 인가하면 자이로 토커가 이에 상응하는 방향으로 자이로스핀 축을 기울여 주고, 스피너축이 기울어짐으로 인하여 자이로 각도 검출기에서는 이에 상응하는 전압이 발생한다.

안정화 기능은 운용자가 조준경을 통하여 관측물을 관측하고 있거나 움직이는 관측물을 정확하게 추적하고 있을 때, 차량의 이동 등으로 인한 외란이 있을 수 있는데 이 외란이 조준경의 구조물을 통하여 김벌에 전달되며 전달된 외란으로 김벌이 움직이면 거울과 연결된 자이로가 거울의 움직인 변위를 감지하여 제어기능의 신

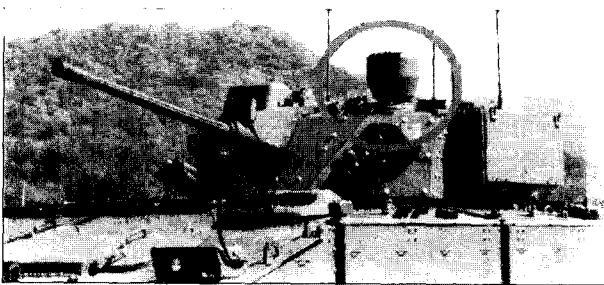


그림 1. 차기보병전투장갑차의 차장 조준경
Fig. 1. Commander Panoramic Sight of Next Infantry Fight Vehicle.

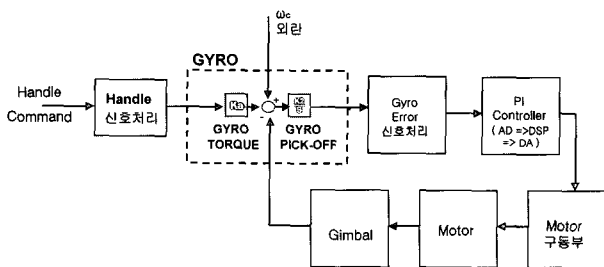


그림 2. 조준경 안정화 시스템의 안정화 모드 블록선도
Fig. 2. Block diagram of Stabilization mode.

호흐름과 동일한 경로를 통하여 외란과 역상으로 거울을 움직이므로써 거울의 관측선을 최초의 위치에 유지시킬 수 있다.(그림 2 참조)

2. 조준경 안정화 장치의 인식

가. 시스템 인식-Recursive Least Square Algorithm

본 논문에서 시스템 인식에 사용하게 되는 최소순환자승법(RLS : Recursive Least Square Algorithm)의 목적은 시스템의 입력과 출력자료를 통하여 시스템(system) 파라미터(Parameter) 값을 추정(estimation)할 때 에러치가 목표하는 값 안으로 수렴하는 파라미터 값을 추정하게 하는 것이다.^[3]

임의의 시간 t 에서 제어기의 출력전압을 $x(t)$ 라고 할 때, 이 시스템의 입력 $x(t)$ 는 모터구동부, 모터, 자이로를 순서대로 거쳐 자이로 에러출력전압 $y(t)$ 로 출력된다. 이 시스템 입력 $x(t)$ 와 시스템 출력 $y(t)$ 을 차분방정식의 형태로 모델링할 수 있으며 이를 통하여 식 (1)과 같은 estimation \hat{y}_k 을 얻을 수 있다.^[3]

$$\hat{y}_k = -a_1 y_{k-1} \dots - a_{m-1} y_{k-m-1} - a_m y_{k-m} + b_1 x_{k-1-d} + b_2 x_{k-2-d} + \dots + b_{m-1} x_{k-m+1-d} + b_m x_{k-m-d} \quad (1)$$

나. 조준경 안정화 시스템의 인식

차기 보병 전투장갑차용 조준경 안정화 시스템을 인식하기위하여 안정화 모드의 안정화 기능에 대하여

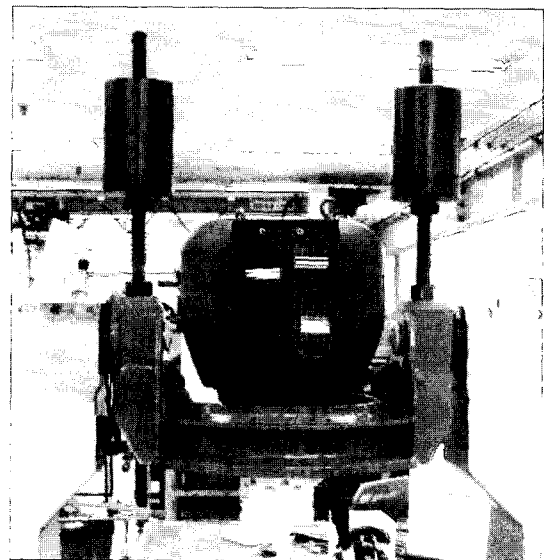


그림 3. 테스트벤치에 얹힌 조준경
Fig. 3. Stabilization Sight on the Test bench.

실험을 통하여 시스템 입력 x_k 에 대한 시스템 출력 y_k 을 구하여 인식알고리즘인 최소순환자승법 (RLS algorithm)을 이용하여 시스템파라미터 $\Phi(k)$ 을 구하였다. 이 실험은 방위각에 대하여 수행하였으며 입력 및 출력자료를 500Hz로 동시에 샘플링 하여 각각 1000개의 수집하였다.

Plant 및 RLS algorithm의 입력 x 는 모터구동부에 입력되는 전압이며, 플랜트의 출력 y 는 입력전압 x 에 비례하여 구동되는 김벌의 움직임에 비례하여 발생하는 실제 자이로 에러 출력전압이다. 이 알고리즘을 통해 구해지는 \hat{y} 는 최소순환자승법에 의해 추정된 자이로 에러 출력전압이다.

본 논문에서 시뮬레이션에 사용한 시스템의 초기 값과 forgetting factor는 각각 다음과 같다.

$$\theta(0) = 1 \times 10^{-9}, P(0) = 1 \times 10^9 \quad (2)$$

$$\lambda = 0.99 \quad (3)$$

앞에서 소개한 파라미터를 추정하는 방법으로 조준경 안정화 장치의 인식을 위한 방위각 방향 수렴 결과

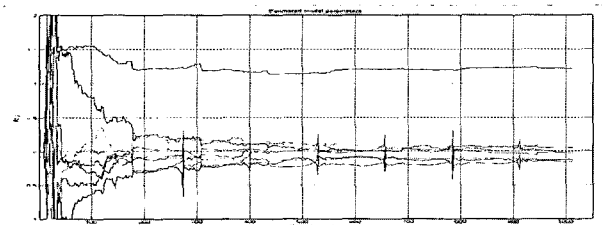


그림 4. 모델 파라미터의 추정치
Fig. 4. Identified Model Parameters.

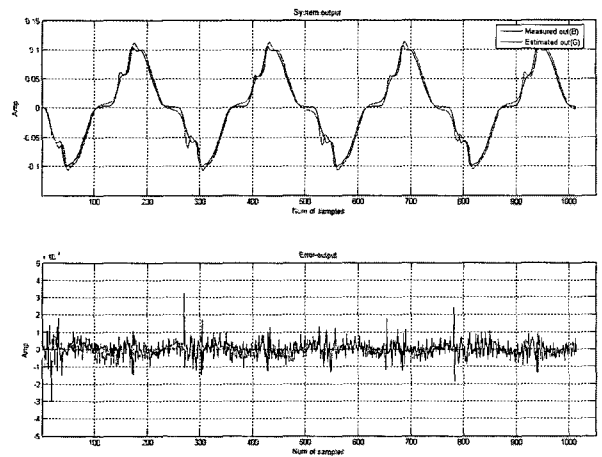


그림 5. 측정 및 추정된 출력값(위)과 에러(아래)
Fig. 5. Measured and Identified Outputs and Errors.

는 그림 4와 같다. 그림 4는 시뮬레이션의 결과이며 모델의 파라미터들이 각각 일정한 값으로 추정됨을 보여준다.^[7]

그림 5는 실제 조준경 안정화 시스템에서 측정된 출력 전압 $y(t)$ 과 추정알고리즘을 통해서 얻어진 시뮬레이션 결과 $\hat{y}(t)$ 및 그 차 $e(t)$ 를 보여 준다.

시뮬레이션을 통하여 구해진 시스템 방위각 방향의 실제 파라미터 모델은 식 (4)와 같다.^[4]

$$y_k = 2.2217y_{k-1} - 1.2702y_{k-2} - 0.2081y_{k-3} + 0.2522y_{k-4} - 0.2464u_{k-1} + 0.2867u_{k-1} + 0.1793u_{k-1} - 0.2198u_{k-1} \quad (4)$$

3. 제어기 설계

가. 퍼지제어기 설계

앞에서 조준경 안정화 시스템을 인식하고 5차의 파라미터를 갖는 모델을 구하였다. 이제 이렇게 구해진 모델에 대해 제어기를 설계하여 시뮬레이션 하므로 써 제어기 성능을 확인한다.

뒤에 언급될 비선형적인 잡음을 고려하여 퍼지제어기 및 PI이득조정 퍼지제어기 2개의 제어기를 설계하여 실제 차기보병전투장갑차의 조준경 시스템을 제어하기 위해 사용되고 있는 기존 진상보상기(Lead Compensator)를 포함한 PI제어기와 성능을 비교하는 시뮬레이션을 수행한다.

그림 6은 추정된 시스템의 모델에 대해 퍼지제어기를 적용하는 블록도이다. 추정된 시스템의 출력은 제어 목표치와 비교되어 출력의 차인 오차 $e(k)$ 및 현재오차와 이전오차의 차인 오차변화 $\Delta e(k)$ 을 생성한다. 퍼지제어기는 이 두 값을 입력 받아 퍼지화(fuzzification), 퍼지 추론(fuzzy inference), 비퍼지화(Defuzzification)의 과정을 수행하여 적절한 제어입력 $u(t)$ 를 생성한다.

본 논문에서는 퍼지추론 방식으로 Mamdani의

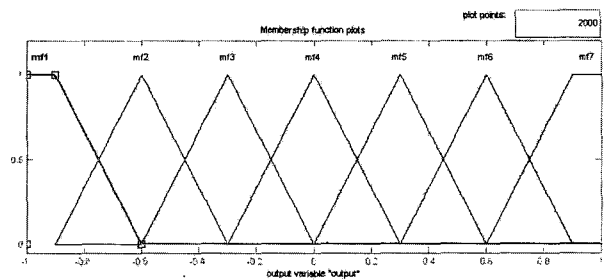


그림 8. 제어출력 Δu_f 에 대한 멤버십 함수
Fig. 8. Membership function of Control output Δu_f .

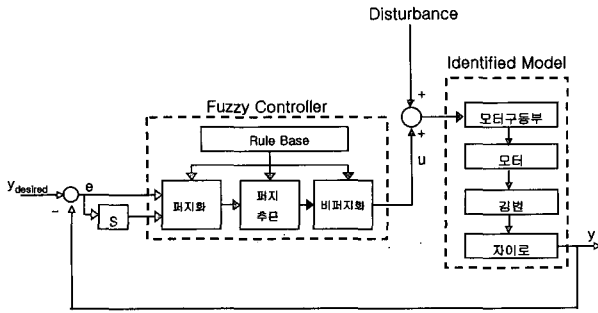


그림 6. 인식된 시스템에 적용한 퍼지제어기
Fig. 6. Fuzzy Controller applied the estimated system.

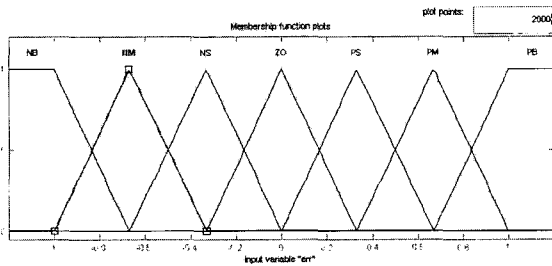


그림 7. 에러 및 에러변화에 대한 멤버십 함수
Fig. 7. Membership Function of error and error variation

min-max 방법을 이용하였으며 추론의 결과로부터 얻어진 퍼지 집합은 무게중심법(Center of gravity)을 이용하여 비퍼지화 하였다. 이렇게 계산된 값은 물리량으로 변환한 퍼지제어기 출력으로 나오며 식 (6)으로 주어진다. 비퍼지화 된 값은 -1에서 1 사이의 정규화 된 값으로 주어지며 출력 스케일 요소에 의해 변환되어 플랜트에 가해진다.^{[5][6]}

$$\Delta u_f(k) = \text{defuzzifier}(du_f(k)) \quad (5)$$

$$u_f(k) = u_f(k-1) + \Delta u_f(k) \quad (6)$$

퍼지제어기에 사용된 퍼지규칙들의 멤버십 함수(Membership function)는 그림 7과 같고 퍼지제어기의 출력값 $\Delta u_f(k)$ 에 대한 퍼지 규칙의 멤버십 함수는 그림 8과 같다.

또한 본 논문에서 사용한 퍼지제어 규칙(fuzzy rule base)은 식 (7)과 같으며 사용된 퍼지 제어규칙은 표 2와 같다.

$$MF = [NB; NM; NS; ZE; PS; PM; PB] \quad (7)$$

나. 퍼지 PI게인 보상 제어기

두 번째 제어기는 퍼지 PI이득조정 제어기(Fuzzy PI

표 2. 퍼지제어기에 사용된 퍼지 제어 규칙
Table 2. Fuzzy control rule of Fuzzy Controller.

		Δe						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
error	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

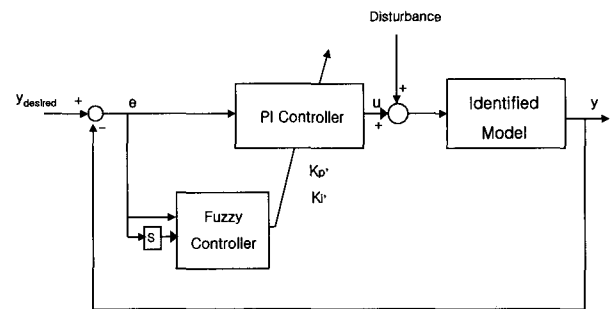


그림 9. 퍼지 PI이득조정 제어기
Fig. 9. Fuzzy PI gain scheduling controller.

Gain Scheduling Controller)이다. 퍼지제어기와 마찬가지로 오차와 오차변화량을 입력받은 퍼지제어기가 PI제어기의 게인(K_p, K_i)을 보상(scheduling)하므로써 제어를 수행한다.

그림 9는 퍼지 PI이득조정 제어기의 블록도이다.

앞의 퍼지제어기와 마찬가지로 에러 및 에러변화를 입력받는데 이 에러 및 에러변화에 대한 멤버십 함수는 그림 7과 같이 앞장의 퍼지제어기와 같은 7개의 멤버십 함수를 갖는다.

에러 및 에러변화를 입력받은 퍼지로직 제어기는 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화의 과정을 수행하여 PI제어기의 게인 K_p, K_i 에 대한 각각의 보상파라미터 K_p', K_i' 를 출력한다. 퍼지로직 제어기의 출력 K_p' 은 식(8)과 같으며 식(9)에 의해 0과 1사이의 값으로 정규화 하여 출력한다.

$$K_p' = (K_p - K_{p, \min}) / (K_{p, \max} - K_{p, \min}) \quad (8)$$

$$K_p' = \sum_{i=1}^m \mu_i K_{p,i}' \quad (9)$$

K_p' 는 PI제어기에서 보상 후 출력되는 PI제어기의 새

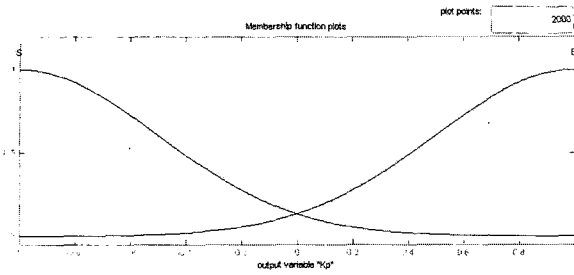


그림 10. 제어출력 K_p' 에 대한 멤버십 함수

Fig. 10. Membership function of Control output K_p'

표 3. K_p' 에 대한 퍼지 제어 규칙

Table 3. Fuzzy control rule for K_p' .

		Δe						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
error	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	B	S	S	B	B	B	B
	NS	B	S	S	B	B	B	B
	ZO	B	B	B	S	B	B	B
	PS	B	B	B	B	B	B	B
	PM	B	B	B	B	B	B	B
	PB	B	B	B	B	B	B	B

로운 비례제어제인이며 $K_{p,max}$, $K_{p,min}$ 는 각각 비례제어제인의 최댓값과 최솟값이다. 이 두 값의 평균이 기존 PI제어기의 비례제어제인과 같게 하고 좋은 제어 성능을 갖도록 시뮬레이션을 통하여 $K_{p,max}$, $K_{p,min}$ 의 선정하였으며 그 값은 식(10)과 같다.

$$K_{p,max} = 1.7, K_{p,min} = 0.3 \tag{10}$$

K_p' 의 멤버십함수는 그림 10과 같으며 그 소속 함수는 각각 식(11) 및 식(12)과 같이 Gauss 멤버십함수를 가지며 본 논문에서 표준편차 σ 는 0.5의 값을 갖는다.^[7]

$$\mu_{SMALL}(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \tag{11}$$

$$\mu_{BIG}(x) = e^{-\frac{-(x-1)^2}{2\sigma^2}} \tag{12}$$

K_p' 에 사용된 퍼지 제어규칙은 표 3과 같다.^[8]

퍼지로직 제어기의 출력 K_i' 은 식(13)과 같으며 비퍼지화에 의해 출력된 변수 α 는 식(14)에 의해 구해진다. 적분제어제인 K_i' 를 구하기 위한 멤버십함수는 그림 11

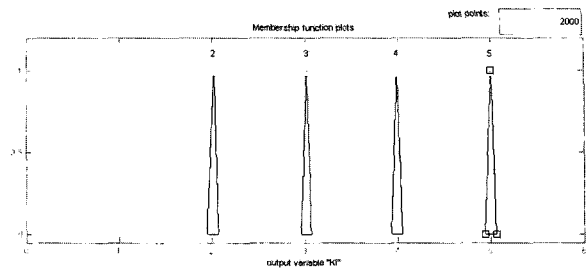


그림 11. 제어출력 K_i' 에 대한 멤버십 함수

Fig. 11. Membership function of Control output K_i'

표 4. K_i' 에 대한 퍼지 제어 규칙

Table 4. Fuzzy control rule for K_i'

		Δe						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
error	NB	2	2	2	2	2	2	2
	NM	3	3	2	2	2	3	3
	NS	4	3	3	2	3	3	4
	ZO	5	4	3	3	3	4	5
	PS	4	3	3	2	3	3	4
	PM	3	3	2	2	2	3	3
	PB	2	2	2	2	2	2	2

과 같으며 K_i' 를 구하기 위한 퍼지제어규칙은 표 4와 같다.

$$K_i' = K_p' / 2\alpha \tag{13}$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^m \mu_i \alpha_i \tag{14}$$

다. 안정화 시스템의 외란조건

조준경의 진동 시험 시 조준경에 가하는 진동의 최대치를 각각의 주파수에 따라 PSD(power spectrum density)로 보일 수 있다. 그림 12는 개발 시 시험을 통하여 각 주파수별 최대의 진동의 크기를 얻어진 값으로 조준경의 운용 주파수 0.2~50Hz중 0.5Hz에서 최대 약 41dB를 가지며 이를 근사화한 수식은 식(15)와 같다. 백색 가우시안 잡음(White Gaussian Noise)과 함께 본 논문에서는 인식된 시스템에 외란으로 가해진다.^[9]

$$T_L = \frac{31.2 * 10^3 f}{(1 + 4f^2)^2} \left(\frac{(mil/sec)^2}{Hz} \right)^{\frac{3}{2}} \tag{15}$$

$$0.5 \leq f \leq 50Hz$$

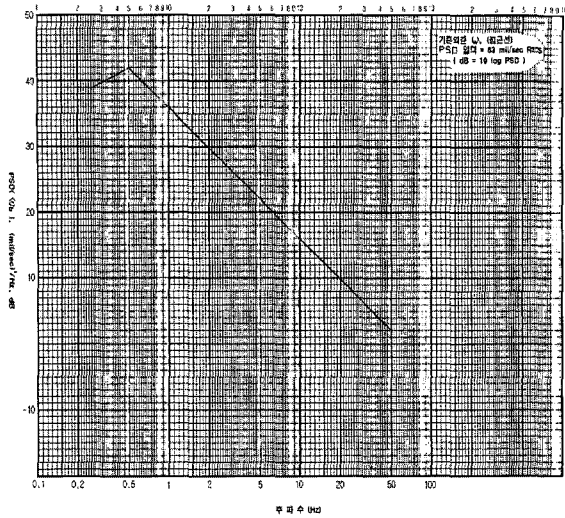


그림 12. 주파수에 따른 진동(외란) 특성
Fig. 12. Vibration(Disturbance) characteristics.

III. 실험

본 논문에서는 Mathworks사의 Matlab의 Fuzzy Logic Tool Box를 이용하여 제어를 설계하고 Matlab의 Simulink를 이용하여 시뮬레이션 함으로서 그 성능을 확인하였다. 첫 번째 기본적인 성능확인을 위한 시뮬레이션은 기준출력(reference output)에 스텝함수를 입력하여 제어기의 기본 성능(정상상태 오차, 안정화 시간, 최대오차)을 확인하였다.^[10]

그림 13 및 표 5는 첫 번째 시뮬레이션을 수행한 응답이다. 그림 및 표에서 확인할 수 있는 것처럼 스텝입력에 대한 응답 성능은 퍼지제어기, 퍼지 PI이득조정 제어기(Fuzzy PI Gain Scheduling Controller), 진상보

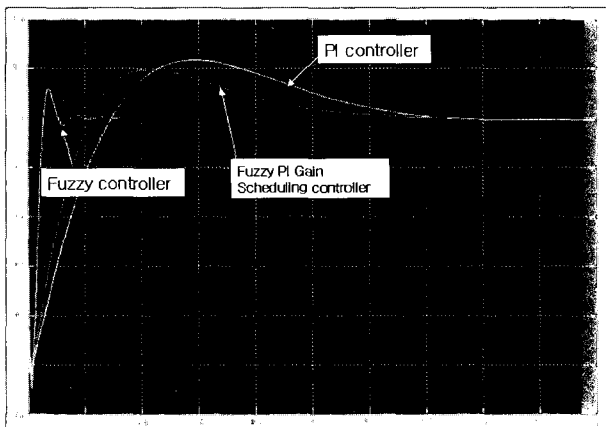


그림 13. 각 제어기의 스텝응답
Fig. 13. Step responses of each controllers.

표 5. 스텝입력에 대한 각 제어기의 성능지수
Table 5. Performance of each Controller for Step input.

항목	Lead PI controller	Fuzzy controller	Fuzzy PI Gain Scheduling
Settling Time	1.2 sec	0.095 sec	0.95 sec
Overshoot	25%	1.2%	20%
Steady State Error	0.4%	0%	0%

상 PI제어기 순으로 확인되었다. 특히 퍼지제어기는 다른 두 제어기에 비하여 10배 빠른 settling time과 10배 작은 overshoot를 가지고 있음을 알 수 있다.

두 번째는 성능확인 시뮬레이션을 통하여 식(14)에서 제안한 외란 조건 및 백색가우신안 잡음(White Gaussian Noise)을 추가하여 외란에 대한 성능(Disturbance reduction)을 확인하였다.^[11]

그림 14 및 15에서 볼 수 있듯이 에서 확인 할 수 있는 바와 같이 기준출력을 스텝입력 대신 0.5Hz의 구형파 및 1Hz의 삼각파를 기준출력으로 주었다. 이와 동시에 앞서 언급한 외란(T_L)을 가하여 각 제어기의 응답을 보였다. 외란을 가한 두 번째 시뮬레이션에서도 앞서와 마찬가지로의 성능 순을 확인 할 수 있다. 즉 외란에 대한 응답 성능은 퍼지제어기, 퍼지 PI이득조정 제어기, 기존의 진상보상 PI제어기 순으로 외란을 제거하고 구현과의 기준출력을 따라가는 모습을 볼 수 있다

표 6은 각 제어기의 외란을 제거하는 성능을 정량화하여 나타낸 것으로 각 제어기의 시뮬레이션 응답 및

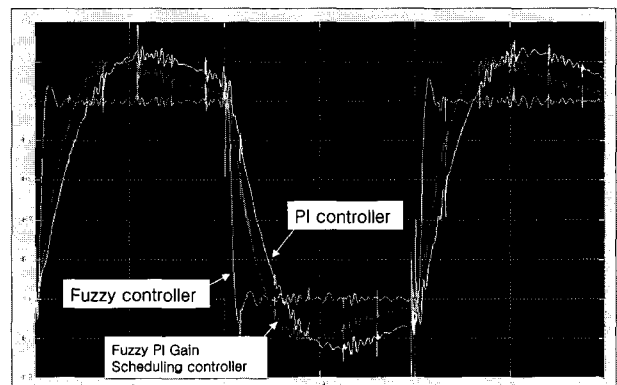


그림 14. 각 제어기의 외란에 대한 특성(구형파)
Fig. 14. Disturbance Reduction performance of each Controller.

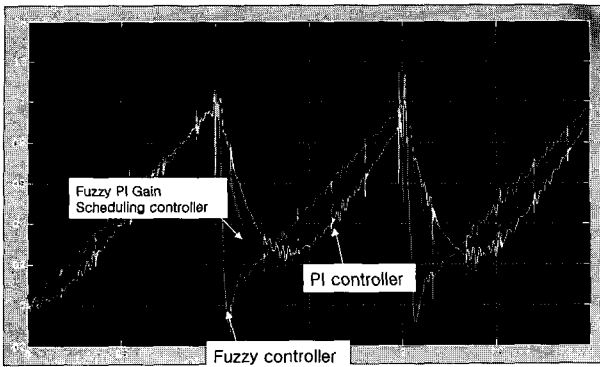


그림 15. 각 제어기의 외란에 대한 특성(삼각파)
 Fig. 15. Disturbance Reduction performance of each Controller.

표 6. 외란에 대한 각 제어기의 성능지수
 Table 6. Performance of each Controller for Disturbance.

항목	Lead PI controller	Fuzzy controller	Fuzzy PI Gain Scheduling
오차 (RMS)	1.17	0.54	0.94

기준출력과의 오차를 RMS(Root Mean Square)값으로 나타내었다. 각 그림에서 본 바와 같은 결과를 보였는데 퍼지제어기가 0.54로 가장 작은 오차를 가졌으며 퍼지 PI이득조정 제어기, PI제어기 순의 성능을 보였다.

이와 같은 시뮬레이션을 통하여 조준경 안정화 시스템에 대한 퍼지제어기 및 퍼지 PI이득조정 제어기에 대한 성능을 확인하였다.

제안된 두 개의 지식기반 비선형 제어기 모델이 기본적인 제어성능 및 비선형적인 외란을 추가한 조건에서 외란을 제거하여 제어를 수행하는 성능 모두 유용함을 알 수 있었으며 조준경 안정화 시스템을 임의의 비선형적인 외란을 추가하여 시뮬레이션 해봄으로서 지식기반 비선형제어기에 대한 보다 나은 제어 성능을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

조준경 안정화 시스템은 목표물의 인식과 탐지를 위해 차량이 기동 중에도 정확한 사격을 할 수 있도록 하는 시스템으로 운용자의 속도명령을 안정적으로 추종할 뿐만 아니라, 특히 주행 및 운용에 따라 항상 노출되어 있는 미지의 비선형적인 외란 환경에서도 목표물에 대한 지속적인 인식과 탐지를 위해 안정된 조준선을 제공

해 주어야 한다.

본 논문에서는 이러한 조준경 안정화 시스템에 대해 시스템 인식 알고리즘중의 하나인 RLS algorithm을 이용하여 시스템파라미터를 구하여 모델을 구하였다.

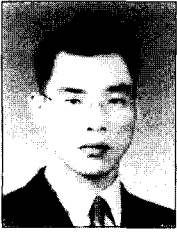
또한 구해진 시스템의 모델에 대해 퍼지 제어기 및 퍼지 PI이득조정 제어기를 설계하고 기존 조준경 안정화 시스템에 사용하고 있는 제어기와 성능 비교 시뮬레이션 한 결과 외란을 가하였을 때나 가하지 않았을 때 모두 퍼지제어기가 가장 우수한 성능을 보였으며 퍼지 PI이득조정 제어기의 성능이 그 다음이었다.

조준경 안정화 시스템은 5차로 모델링이 가능한 비교적 단순한 모델임에도 불구하고 비선형적인 외란을 피할 수 없는 상황에 대해 지식기반 비선형제어기를 적용하여 보다 나은 제어 성능을 구할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 계중읍, “조준경 안정화 장치의 성능평가 및 견실제어기 설계”, 박사학위논문, 부산대학교, 2000.
- [2] 전병균, “마찰보상기법을 이용한 조준경 안정화 장치의 고정밀 제어”, 박사학위논문, 경북대학교, 2000.
- [3] Kalouptisidis, N & Theodoridis, S “Adaptive System Identification and Signal Processing Algorithm”, pp. 14-25, Prentice Hall
- [4] Lennart Ljung, “System Identification Toolbox for use with MATLAB”, The Math Works Inc, Control of Attractive Magnetic Levitation With Permanent Magnet”, Int. Conference Maglev '89, 447-452, 1989.
- [5] 이현엽, 문경일, “MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로”, 아진 pp.168-197
- [6] 임종수, “ Simulink Power”, 아진
- [7] Zhen-Yu Zhao, M. Tomizuka, “Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller”, IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, vol.23, no.5, pp.1392-1398, Sep/Oct. 1993.
- [8] 박명관, 이종운, “퍼지-PID 이득조정 알고리즘을 적용한 저항용접기의 온도제어”, 동양대학교 논문집, pp.57-70, 2006.
- [9] 김대운, 지언호, 전순용, 이진복, “순환최소자승법을 이용한 조준경 안정화 장치 인식과 제어”, 국방정보 및 제어 학술대회, 대한전자공학회, 2006.
- [10] “Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB”, The Math Works Inc,
- [11] 박전수, “Simulink 프로그래밍 언어”, 아진

저 자 소 개



김 대 운

2002년 경북대학교 전자전기
공학부 학사 졸업
2007년 동양대학교 시스템제어
공학과 석사 졸업
2007년 현재 국방기술품질원 통신
전자센터 근무

<주관심분야 : 레이더, 조준경, 신호처리>

전 순 용

1986년 경북대학교 전기공학과 학사 졸업.
1991년 경북대학교 전기공학과 석사 졸업.
1995년 경북대학교 전기공학과 박사 졸업.
현재 동양대학교 전자유도기술학과 부교수
<주관심분야 : 대체의공학, 무기체계설계, 시스템
인식, 퍼지응용>