

# Fuzzy-PID 제어를 이용한 이동체간 추적 안테나 시스템의 서보제어기 설계에 관한 연구

## A Study On the Design of a Servo Controller for a Tracking Antenna System between Moving Vehicles by the Fuzzy-PID Controller

김종권\*, 조겸래\*, 이대우\*, 장철순\*\*

Jong-Kwon Kim\*, Kyeum-Rae Cho\*, Dae-Woo Lee\*, Chul-Soon Jang\*\*

### 요 약

인공위성이나 무인기와 같은 이동체와 지속적인 통신을 위해서는 최소한 2축 이상의 안테나 시스템이 필요하다. 또한 안테나가 차량, 선박 등의 이동체에 탑재될 경우 이동체의 롤, 피치, 요 모션의 영향을 상쇄시킬 수 있는 안정화 시스템(Stabilization System)과 이동하는 추적 대상 이동체를 연속적으로 지향할 수 있는 추적 시스템(Tracking System)이 갖추어져야한다. 이동체 안정화 및 추적 시스템의 성능은 안테나 Pedestal을 구동하는 서보제어시스템에 주로 의존한다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Fuzzy-PID 제어를 이용하여 2축 안테나 시스템의 안정화와 이동체 추적시스템을 위한 제어를 구성하여 그 성능을 검증하였다. 설계한 안테나 서보제어 시스템의 검증을 위해, 같은 PID 게인으로 설계한 일반적인 PID 제어기와 Fuzzy-PID 제어기의 성능을 비교하였다.

### Abstract

For continuous communication between moving vehicles such as satellites and unmanned aerial vehicles, an antenna system having at least more than 2-axes is needed. When the antenna is mounted on a moving vehicle such as ground vehicle, ship and so on, a stabilization and tracking system must be equipped to compensate the roll, pitch and yaw motion of the vehicle. The performance of stabilization and tracking system mainly depends on the servo control system that driving the antenna pedestal. Therefore, in this paper, a Fuzzy-PID controller for a stabilization and tracking system of a 2-axes antenna was designed and the performance was verified. To verify the verification of designed servo control system, the performance of the conventional PID controller and that of the Fuzzy-PID controller, designed by the same PID control gains, was compared.

Key words : antenna system, servo controller, Fuzzy-PID controller.

### I. 서 론

인공위성, 무인선박, 무인항공기 등의 이동체간의

\* 부산대학교 항공우주공학과(Department of Aerospace Engineering, Pusan National University)

\*\* (주)신동디지텍 (Shin-Dong Digitech. Co. Ltd.)

· 접수일자 : 2004년 10월 15일

Data Link를 위해서 안테나는 항상 이동시스템 방향을 지향하고 있어야 한다. 특히 자동차, 선박과 같은 이동체에 안테나 시스템이 탑재되어 있을 경우 언제나 그 중심이 흔들리고 있으므로 안정적인 Data Link를 위해서는 안테나의 지향성이 주요한 관건이다. 즉, 안정적인 Data Link를 위해서는 외부의 환경변화와 무관하게 안테나는 항상 일정한 방향을 지향할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 이동체의 동역학의 실시간 처리, 궤적 추정 및 예측, 안테나 서보 메커니즘, 추적 알고리즘 등의 S/W, H/W 가 실시간으로 통합 작용하여야 한다. 그리고 계산한 운동체의 운동방정식을 실시간으로 해석하고 위치를 파악하여 추적 안테나의 방향을 수정해주는 알고리즘과 이를 위한 서보 메커니즘이 필요하다. 특히 실제 시스템에 탑재할 수 있는 고속, 실시간 계산 기술이 핵심요소가 될 것이다. 이를 위해 탑재 컴퓨터와 센서 인터페이싱 및 이의 실시간 처리가 중요한 문제이다[1, 2].

이동체에 설치되는 안테나 시스템은 이동체의 상대적 운동에 대한 안정화가 필요하므로 2축이나 3축 구동 안테나로 구성하여 안테나의 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)에 대한 안정화 시스템을 구축하여 사용한다. 3축 안정화 안테나 시스템을 사용하며 롤, 피치, 요에 대한 정확한 보상은 가능하나 그 구조가 복잡하고 가격이 비싸다. 그런데 안테나와 비교적의 거리가 멀고 통신용 전파가 선형 편파특성을 가질 때는, 2축 구동 안테나 시스템을 사용해도 롤, 피치, 요에 대한 정확한 보상이 가능하므로, 선형 편파 특성의 안테나에 대해서는 2축 구동 안테나 시스템을 많이 사용한다.

본 논문에서는 2축 안테나 시스템의 안정화와 이동체 추적시스템을 위한 서보 제어를 Fuzzy-PID 알고리즘을 이용하여 설계하였으며, 그 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 일반적인 PID 제어기의 경우 제어 게인이 고정 되어 있으므로, 외부 환경변화와 제어 파라미터의 시간적 변화와 같은 제어 대상의 비선형적 변화에 대하여서는 항상 좋은 결과를 내지는 못한다. 반면, 같은 PID 게인으로 설계한 Fuzzy-PID 제어기는 제어 대상의 비선형적 특성에 제어 게인이 변하여, 일반적인 PID 제어기보다는

우수한 성능을 보인다. 따라서, 본 연구에서 설계한 Fuzzy-PID 제어기가 일반적인 PID 제어기보다 외부 환경 변화에 우수한 성능을 보임을 보였다.

## II. 안테나 시스템

### 2-1 안테나 시스템

본 연구에서는 Target 시스템으로 SeaTel 사의 1898모델을 중심으로 시스템 모델링, 안정화 시스템 및 서보 제어시스템의 알고리즘 개발을 목표로 하였다. 성능 검토의 자료로 삼고 있는 2축 안정화 추적 안테나 시스템의 사양은 그림 1과 같다. 목표로 하고 있는 이동체용 안테나 기술의 모든 핵심기술을 포함하고 있으므로, 3축 안정화 안테나 시스템의 제어 알고리즘 설계기술 개발의 기반 기술이 될 것으로 판단되어 본 시스템을 Target 시스템으로 설정하였다.

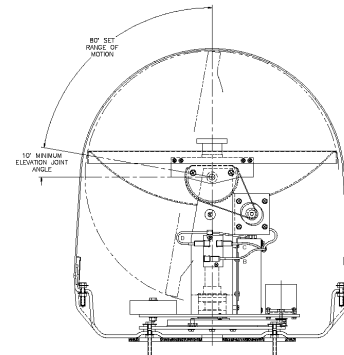


그림 1. 안테나 시스템의 구조

Fig. 1. Structure of Antenna System.  
(SeaTel 1898 Model)

우선 좌표계를 아래 그림과 같이 설정한다. 관성 좌표계와 무게 중심 좌표계의 관계는 관성 좌표계의 Z축을 기준으로  $\psi_b$  만큼 회전한 것이 무게 중심 좌표계이며, 표적에 대한 상대 방위각  $\alpha$ 와 진방위각  $\alpha_t$ 의 관계는 식 (1)과 같다.

$$\alpha = \alpha_t - \psi_b \quad (1)$$

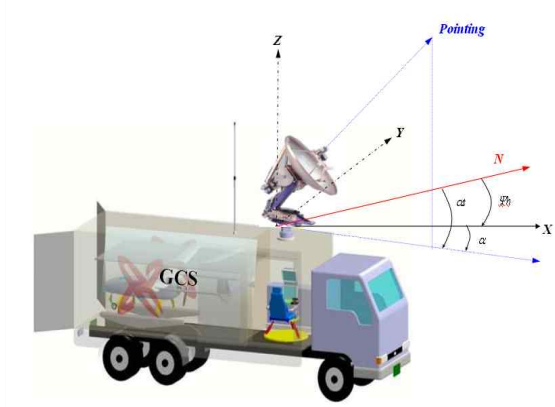


그림 2. 좌표계

Fig. 2. The coordinate system.

### 2-1 안테나 안정화 알고리즘

이축 안테나 시스템의 좌표계는 일반적으로 구형 좌표계로 표시되어 있으므로, Roll, Pitch, Yaw에 대한 정확한 보상을 해 주기 위해서는 구형 좌표계로 표시된 방향 벡터를 직각 좌표계(Cartesian Coordinate)로 변환해서 Roll, Pitch, Yaw 보상한 다음 이것을 다시 구형 좌표계로 변환한다. 구형 좌표계에서 방위각이  $\alpha$ , 고도각이  $\beta$ , 벡터 크기가  $\gamma$ 인  $P$  벡터를 표시한다면 이를 X축, Y축, Z축 성분이  $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$ 인 직각좌표계로 표시하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} X_p &= \gamma \cos \alpha \sin \beta \\ Y_p &= \gamma \sin \alpha \sin \beta \\ Z_p &= \gamma \cos \beta \end{aligned} \quad (2)$$

이동체의 동역학 운동을 모델링하면, X축, Y축, Z축에 대한 회전 운동으로 표시할 수 있으며, 여기에서 Roll, Pitch, Yaw의 크기를  $\phi$  (Roll angle),  $\theta$  (Pitch angle),  $\Psi$  (Yaw Angle)라 하면, 이들 각각에 대한 변위는 식(3)~(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Rot}(Z, \Psi) = \begin{pmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi & 0 \\ \sin \Psi & \cos \Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Rot}(Y, \theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\text{Rot}(X, \phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (5)$$

따라서 이동체가 위 세 가지 운동 즉, Roll, Pitch, Yaw 운동을 동시에 하고 있다고 하는 경우, 전체적인 변위는 아래 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} RPY(\phi, \theta, \Psi) &= \text{Rot}(Z, \Psi) \text{Rot}(Y, \theta) \text{Rot}(X, \phi) \\ &= \begin{pmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi & 0 & \cos \theta & 0 & \sin \theta & 1 & 0 & 0 \\ \sin \Psi & \cos \Psi & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & 0 & 1 & -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

Roll, Pitch, Yaw가  $\phi, \theta, \Psi$ 인 경우 Roll, Pitch, Yaw로 인한 변이된 지향각  $[X_d, Y_d, Z_d]^T$  은 위 식을 이용하면 아래 식 (7)과 같이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} X_d &= X_p \\ Y_d &= RPY(\phi, \theta, \Psi) Y_p \\ Z_d &= Z_p \end{aligned} \quad (7)$$

본 논문에서 이동체의 운동의 영향이 보상된 지향각  $[X_{co}, Y_{co}, Z_{co}]$  이란 안테나가 탑재된 Roll, Pitch, Yaw로 인해서 변이된 지향각 값이 Roll, Pitch, Yaw가 없을 경우 본래의 지향각  $[X_p, Y_p, Z_p]$ 와 같게 되는 값을 말하며 이는 변환 행렬의 역행렬을 곱해줌으로써 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_{co} &= X_p \\ Y_{co} &= RPY(\phi, \theta, \Psi)^{-1} Y_p \\ Z_{co} &= Z_p \end{aligned} \quad (8)$$

최종적으로 안테나 서보 액츄에이터 구동을 위해 직각 좌표계로 표시된 지향각을 다시 구형 좌표계로 변환하면 Roll, Pitch, Yaw에 대해 보상된 방위각과 고각을 얻을 수 있다.

## II. 안테나 서보 제어 시스템

### 3-1 안테나 서보 제어기 모델링

안테나 시스템은 일반적으로 ACU(Antenna Control Unit), PCU(Pedestal Control Unit), SAP(Stabilized Antenna Pedestal)의 3부분으로 구성되는데 ACU는 대상 이동체의 위치를 계산하여 SAP의 방위각(Azimuth)과 고도각(Elevation) 제어 명령을 PCU에 전달하여 SAP를 제어한다. 그림 3에 안테나 시스템의 구조를 나타내었다. 안테나 Pedestal을 구동하는 서보 구동기로는 일반적으로 스테핑 모터, DC 모터, BLDC 모터 등의 전동기가 주로 사용되고 있으며, 대형 안테나 시스템의 경우 유압서보 시스템을 사용하기도 한다. 본 논문에서는 일반적으로 고정도 위치제어에 사용되는 DC 서보 모터를 위한 제어기를 구성하였다.

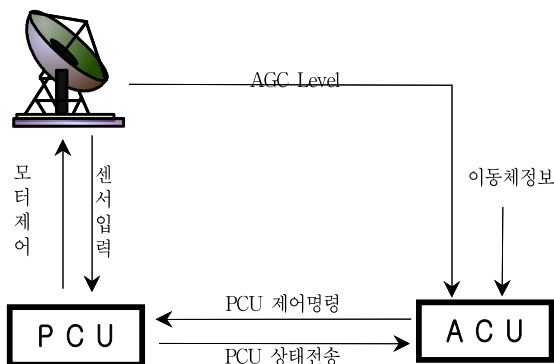


그림 3. 안테나 시스템의 구조  
Fig. 3. The structure of the antenna system.

DC 모터 시스템 모델을 전기적 시정수가 기계적 시정수에 비해 작다고 가정하면, 2차로 모델링 할 수 있고 서보 제어기를 제어 입력에 대한 출력 각의 전달 함수를 정의하여 제어 대상인 플랜트의 상태 방정식을 구하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\theta_a(s)}{U(s)} = \frac{a K_1}{s(s+b)} \quad (9)$$

$x_1 = \theta_0(t)$ ,  $x_2 = \dot{\theta}_a(t)$  라 두면 아래와 같이 상태 방정식 형태로 기술 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -b x_1 + aK_1 U(t) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= 0 & 1 & x_1 & + & 0 \\ \dot{x}_2 &= 0 & -b & x_2 & + & aK_1 \end{aligned} U(t) \quad (11)$$

### 3-2 Fuzzy-PID 제어기 설계

퍼지제어기는 제어적인 측면에서 비선형 제어의 하나로 공학적 문제에서 퍼지 제어 시스템을 사용하는 이유는, 불확실한 시스템의 모델을 얻기 위해 근사적인 방법을 사용하는 경우와, 인간의 지식을 시스템적인 방법으로 형상화하고 수학적 모델로 공학 시스템에 적용시킬 이론이 필요 할 경우 전문가가 시스템에 관하여 자연언어로 묘사하는 구조로 변환하여 설계 가능하다는데 있다[3, 4].

따라서 퍼지 시스템은 전문가의 지식베이스 또는 규칙베이스 시스템을 기반으로 하는 시스템으로 퍼지 시스템의 핵심은 퍼지 IF-THEN규칙으로 구성되는 규칙베이스이다. 즉, 퍼지 IF-THEN규칙은 연속적인 소속 함수를 갖는 언어 표현으로 구성된 문장으로 표현된다. 이를 제어에 사용하기 위해 퍼지 형태로 표현된 수식을 일반적인 형태로 상호 변환해주는 장치가 퍼지화기(Fuzzifier)와 비퍼지화기(Defuzzifier)이다. 아래 그림은 퍼지화기와 비퍼지화기를 가진 Fuzzy 시스템의 기능도이다.

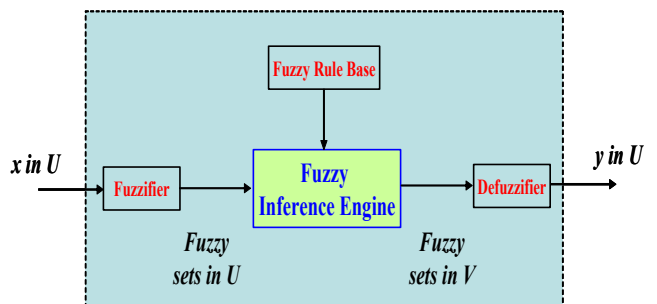


그림 4. 퍼지 시스템의 기능도

Fig. 4. The function Diagram of Fuzzy System.

Fuzzy-PID제어기는 오차, 오차 변화율, 오차 변화율의 변화율을 입력으로 퍼지 규칙(rule)과 추론(Reasoning)을 거쳐 각 계인을 적용하고 제어 출력

결정하는 제어기로써 위치형의 경우 오차, 오차 변화율, 오차 변화율의 변화율에 대해 제어 출력 직접 결정하며 속도형의 경우 오차, 오차 변화율, 오차 변화율의 변화율에 따라 제어 출력의 증감을 결정한다. 일반적인 PID제어기의 제어게인이 고정되는 대신 Fuzzy-PID 제어게인은 입력신호에 대한 비선형 함수의 형태로 게인이 조정되어 비선형에 대한 어느 정도의 보상능력을 가지고 있는 것이 장점이다.

그러나 퍼지 추론을 위한 비선형 계산이 포함되므로 연산량의 증대에 따른 성능저하를 보일 수 있다. 특히 일반적인 임베디드 프로세서는 처리속도 가속을 위해 한 클럭에 명령어 Patch, Data Patch, Decode, Execution등을 동시에 실행하는 파이프라인 구조를 사용하고 있다. 실제 Fuzzy 알고리즘을 탑재할 때, 퍼지 추론에 사용되는 IF와 같은 분기문은 순차적인 파이프라인 처리 구조에서 점프가 일어나서 Pre-Patch, Decode된 상태의 파이프라인 상의 명령은 다른 명령으로 점프하는 경우 필요 없게 되므로 이미 가져온 파이프라인의 앞부분을 버리고 새 명령을 수행하기 위해 다시 명령과 데이터를 가져오고 해석하는 단계를 거쳐야 하므로 일반적인 마이크로프로세서에서는 치명적인 속도의 저하를 가져올 수 있다. 따라서 IF와 같은 분기문을 최대한 줄인 간략화된 형태의 퍼지 제어기가 도입되어야 한다.

본 논문에서는 실제 임베디드 프로세서에 본 알고리즘을 탑재할 것을 목표로 간략화된 Fuzzy-PID 제어를 설계하고 적용하였다. 이를 위해 퍼지 제어기의 입력 변수에 따른 멤버십 함수를 아래 그림 5와 같이 설정하였다. EN, RN, AN은 각각 오차 (Error), 오차변화율(Error Rate), 오차 변화율의 변화율(Error Acceleration)의 Negative에 해당하는 멤버십 함수를 나타내며 EP, RP, AP은 각각의 Positive에 해당하는 멤버십 함수를 나타낸다. 그림 6과 7은 각 Fuzzy 제어블럭1과 2의 출력에 대한 멤버십 함수를 나타낸다. 여기서  $L$ 은 정규화를 위한 상수이다. 제어블럭1의 퍼지 규칙은 아래와 같다.

- R1: IF Error is EP and Error Rate is RP  
THEN Output is OP
- R2: IF Error is EP and Error Rate is RN  
THEN Output is OZ

- R3: IF Error is EN and Error Rate is RP  
THEN Output is OZ
- R4: IF Error is EN and Error Rate is RN  
THEN Output is ON

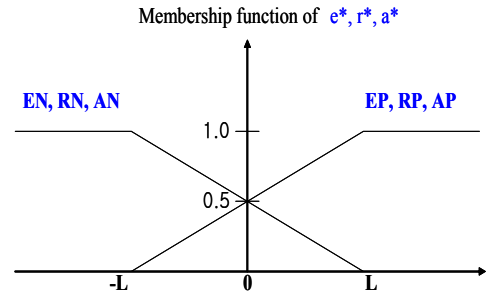


그림 5. 입력 멤버십 함수

Fig. 1. The membership function of inputs.

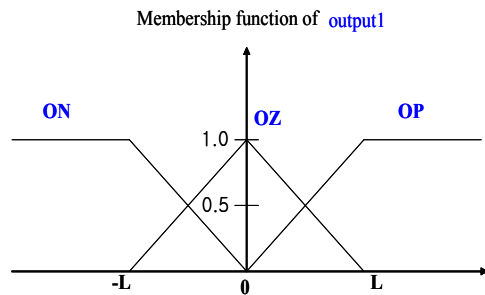


그림 6. 출력 멤버십 함수

Fig. 6. The membership function of output1.

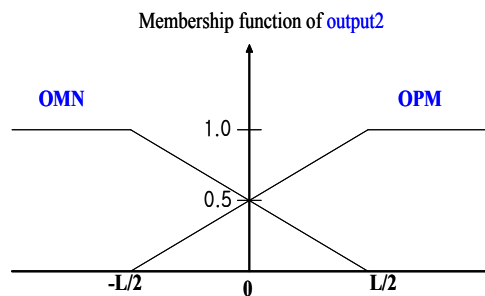


그림 7. 출력 멤버십 함수

Fig. 7. The membership function of output2.

제어블럭2의 퍼지 규칙도 유사하게 다음과 같이 설정 되어진다.

- R1: IF Error Rate is RP and Error Acceleration is RP, THEN Output is OPM  
 R2: IF Error Rate is RP and Error Acceleration is AN, THEN Output is ONM  
 R3: IF Error Rate is RN and Error Acceleration is AP, THEN Output is OPM  
 R4: IF Error Rate is RN and Error Acceleration is AN, THEN Output is ONM

위와 같은 제어기 입력과 출력 멤버십 함수와 퍼지 제어규칙을 택하면 각 제어 블록의 출력값은  $L$ 의 크기에 따른 구간으로 나누어서 각 제어 법칙이 정해지는 특성을 가진다. 비퍼지화 알고리즘으로는 일반적으로 많이 사용하는 중심평균법을 사용하여 속도형 제어기 출력을 유도한 결과식은 아래와 같다.

$$du(nT) = K_i(e) + K_p r(nT) + K_d a(nT) \quad (12)$$

여기서,  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$  는 각각 비례, 미분, 적분 제어 계인으로서 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \text{IF } GE \cdot |e| > L \text{ THEN } GE \cdot |e| = L \\ \text{IF } GR \cdot |r| > L \text{ THEN } GR \cdot |r| = L \\ \text{IF } GA \cdot |a| > L \text{ THEN } GA \cdot |a| = L \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K_i &= \frac{0.5 \times L \times GU \times GE}{2L - \max(GE \times |e(nT)|, GR \times |r(nT)|)} \\ K_p &= \frac{0.5 \times L \times GU \times GA}{2L - \max(GE \times |e(nT)|, GR \times |r(nT)|)} \\ K_d &= \frac{0.25 \times L \times GU \times GA}{2L - \max(GR \times |r(nT)|, GA \times |a(nT)|)} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서,  $GU$ ,  $GE$ ,  $GR$ ,  $GA$ 는 각각 제어입력, 오차, 오차 변화율, 오차변화율의 변화율의 정규화를 위한 상수이다. Fuzzy-PID 제어기에서의 계인들은 시간에 따라 변화하는데, 정상상태의 이른 제어계인 값은 일반적인 고정계인 PID제어기의 계인에서의 값을 이용하여 아래와 같이 설정 할 수 있다. Fuzzy-PID 제어기의 정상상태 비례, 미분, 적분 계인을 각각  $K_p^*$ ,  $K_i^*$ ,  $K_d^*$ 라 하면,

$$K_p^* = \frac{GU \times GR}{4}, K_i^* = \frac{GU \times GE}{4}, K_d^* = \frac{GU \times GA}{8} \quad (15)$$

따라서 고정 계인 PID 제어기의 제어계인을 그대로

로 Fuzzy-PID제어기의 정상상태 계인으로 설정하여  $GU$ ,  $GE$ ,  $GR$ ,  $GA$ 와 같은 상수 값을 정하므로 기본적으로 고정계인 PID 제어기의 이상의 성능을 보장한다. 이와 같이 설계한 Fuzzy Rule은 8개의 IF문의 수를 줄여 3개의 IF문과 3개의 최대치(Max)연산을 가진 선형식으로 구현되므로 매우 간략하게 표현된다. 따라서 실제 임베디드 프로세서에 구현 시 분기문의 수가 현격히 줄어드는 특성을 가질 것으로 판단된다.

### III. 안테나 서보 제어기 시뮬레이션 및 결과

Matlab의 Simulink를 사용하여 서보제어시스템을 모델링한 시뮬레이션 블록도를 그림 8에 제시하였다. 그림 9는 본 논문에서 설계한 Fuzzy-PID 제어기의 구조를 나타낸다. 오차와 오차변화율에 퍼지 제어법칙 적용한 블록1과 오차변화율과 오차변화율의 변화율에 퍼지 제어법칙을 적용한 블록2의 결과를 합한 결과가 퍼지 제어기의 결과로 시스템의 제어 입력으로 생성된다. 0.5 rad의 스텝입력을 가하여 두 서보 제어 시스템의 성능을 비교하여 그림 10에 나타내었다. 같은 제어 계인을 적용하였지만 Fuzzy-PID제어기의 과도상태 특성이 우수함을 알 수 있다. 이는 Fuzzy-PID 제어기의 제어 계인이 정상상태에서는 일반적인 PID제어 계인과 같이 일정한 값으로 고정되지만 초기에 가변하면서 적용되기 때문이다. 그림 11과 12에는 탑재 이동체의 Roll, Pitch, Yaw 운동을 각각 2Hz와 6Hz의 정현파로 입력을 가한 경우 결과를 나타내었다. Roll, Pitch, Yaw 운동의 입력 주파수가 6Hz 일 때가 2Hz일 때 보다 오차가 더 크게 나타났으며 수렴속도도 느려짐을 알 수 있다. 따라서 이동체의 운동이 안테나 서보 제어 시스템에 많은 영향을 줄 수 있다. 또한 탑재 이동체의 Roll, Pitch, Yaw 운동 입력 주파수에 관계없이 Fuzzy-PID 제어기가 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 외부 환경의 변화에 의한 비선형성의 증가에도 불구하고 제안된 Fuzzy-PID 제어기가 요구된 시간내에 정확한 결과값을 산출함을 알 수 있다.

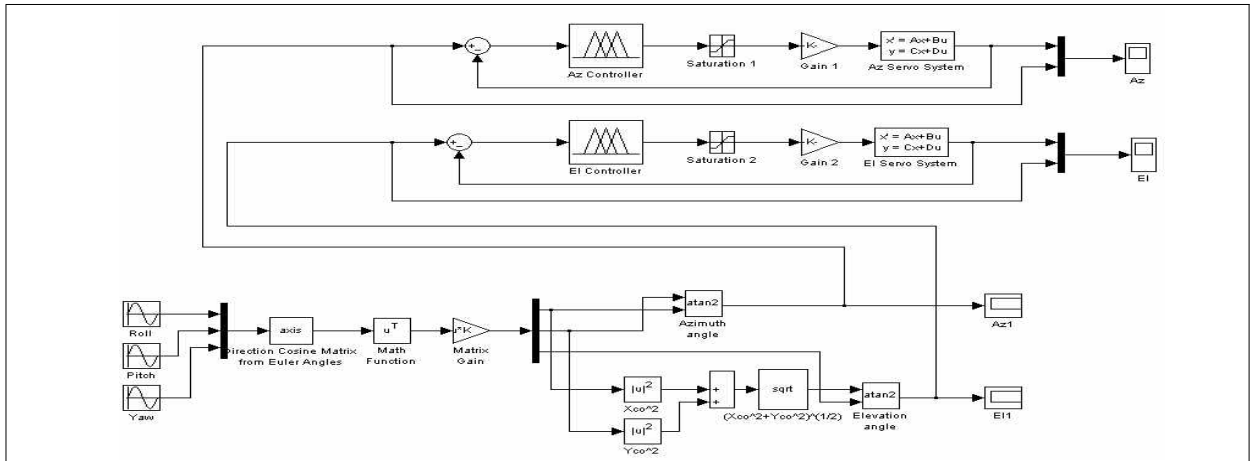


그림 8. Matlab Simulink 시뮬레이션 블록선도  
Fig. 8. Simulation block diagram of Matlab Simulink.

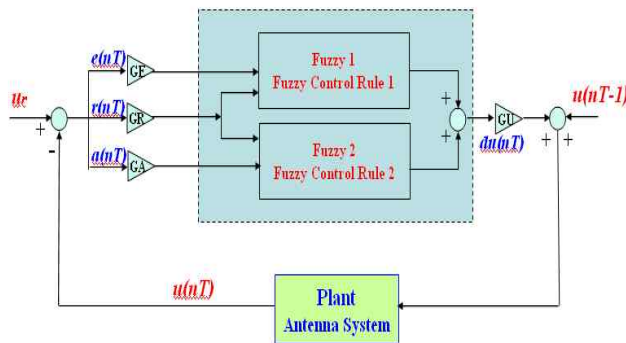


그림 9. 퍼지-PID 제어기의 구조  
Fig. 9. The structure of Fuzzy-PID controller.

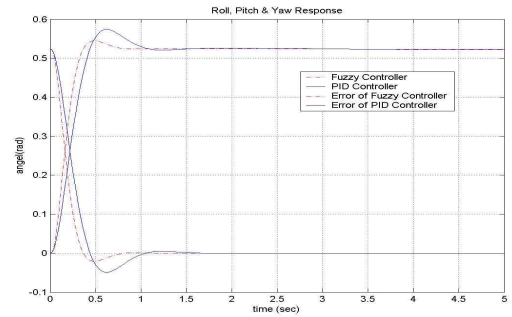


그림 11. 탑재 이동체의 Roll, Pitch, Yaw 운동에 의한 응답(2Hz)  
Fig. 11. The responses of controller with the Roll, Pitch and Yaw motion of the vehicle(2Hz).

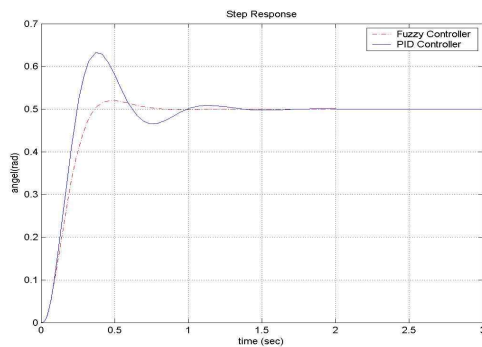


그림 10. PID와 퍼지-PID 제어기의 스텝응답  
Fig. 10. The step responses of PID and Fuzzy-PID controller.

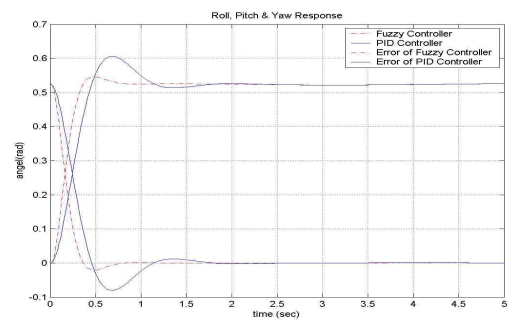


그림 12. 탑재 이동체의 Roll, Pitch, Yaw 운동에 의한 응답(6Hz)  
Fig. 12. The responses controller with the Roll, Pitch and Yaw motion of the vehicle(6Hz).

### III. 결론

본 논문에서는 Fuzzy-PID 서보제어기를 이용하여 이동체간의 Data Link 안테나 시스템 개발을 목표로 하였고 이를 위해서 안정화 기능을 가진 2축 안테나 시스템을 위한 서보제어기를 Matlab Simulink를 사용하여 시뮬레이션을 실시하고 그 성능을 검증하였다. 안테나가 탑재된 이동체의 운동 환경을 구현해 모의 성능 시험을 실시하여 성능을 분석하여 그 결과를 제시하였다. 일반적인 고정 계인 PID 서보제어 알고리즘과 본 논문에서 설계한 Fuzzy-PID 제어 알고리즘을 적용한 안테나 서보제어 시스템을 비교하여 설계한 Fuzzy-PID 제어기가 같은 제어 계인으로 설계되었지만 기존의 PID 제어기보다 우수한 성능을 보임을 제시하였다.

차후 계속 수행되어질 연구에서는 3축 안테나 구동 시스템을 위한 서보시스템에 관한 연구와 개발한 알고리즘의 검증을 위한 시험 및 성능평가에 관한 연구가 계속 진행 될 것이다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 한국산업기술재단이 지원하는 “지역전략산업 석박사 인력양성사업”의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] G. Maral, M. Bousquet, "인공위성 통신 시스템", 홍릉과학출판사, 최경일 역, 1998.  
 [2] 김재진, 김종권, 조겸래, 이대우, 장철순, "이동체의 Data Link를 위한 2축 안테나 시스템에 관한 연구", 한국항공우주학회 추계학술발표회, 11월, 2003.  
 [3] Kelvin M. Passino, Stephen Yurkovich, "Fuzzy Control", Addison-Wesley, 1998.  
 [4] Raner Palm, Dimiter Driankov and Hans Liellendoorn, "Model Base Fuzzy Control" Springer, 1996.  
 [5] S. V. Subba B. Subramanyam, R.

Nandakumar, "Programme Mode of Antenna Position Control using Microcomputer", IE Journal, Vol 65,1984.

[6] Mohammad Jamshidi, Nader Vadiiee, Timothy J, Ross, "Fuzzy Logic and Control : Software and Hardware Applications", Vol 2, Prentice Hall, 1993.

[7] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control : Design and Stability Analysis", Prentice Hall, 1994.

[8] J. S. Roger Jang, Ned Gulley, "Fuzzy Logic ToolBox", Mathworks.

[9] N. Hirakoso, S. Matunaga, Y. Ohkami, "Experiment of Antenna Pointing Control for Satellite Communications Tracking Systems on Vehicles", 日本機械學會論文集(C編), 68 卷 667号, March, 2002.

[10] G.C. Hwang and S. C. Lin, "A Stability Approach to Fuzzy Control Design for Nonlinear Systems" Fuzzy Sets and Systems, Vol.48.pp.279 287, 1992.

### 김 종 권(金 鍾 權)



1994년 2월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학사)  
 1996년 2월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학석사)  
 2005년 2월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학박사)

2005년 3월~현재 : (주)신동 디지털 부설연구소 연구소장  
 관심분야 : 임베디드 시스템, RTOS, DSP, Tracking Antenna System, Unmanned System, H/PILS.

### 조 겸 래(趙 謙 來)



1977년 2월 : 부산대학교 기계공학과(공학사)  
 1979년 2월 : 부산대학교 기계공학과(공학석사)  
 1980년 조지아 공과대학 기계공학과(공학석사)



1986년 텍사스 주립대학(오스틴) 항공우주공학과(공학 박사)

1986년 4월~현재 : 부산대학교 항공우주공학과 교수

관심분야: 인공위성 시스템, 궤도해석, 임무해석

### 이 대 우(李大雨)



1993년 2월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학사)

1997년 2월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학석사)

2001년 8월 : 부산대학교 항공우주공학과(공학박사)

2003년 3월~현재 : 부산대학교 항공우주공학과 조교수

관심분야: 인공위성 시스템, 재진입 유도제어, 비행제어.

### 장 철 순(張哲淳)



1994년 2월 : 한국해양대학교 기관학과(공학사)

1994년 7월~현재 : (주)신동디지텍 대표이사

관심분야: 이동체 통신 시스템, 위성 통신 시스템, 항해 통신 시스템