

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.3.257>

JCCT 2019-8-33

## 퍼지 로직 기반 스마트 자세제어 알고리즘의 설계

### Design of a Smart Attitude Control Algorithm based on the Fuzzy Logic

오선진

Oh, Sun Jin

**요약** 최근 드론 같은 무인 이동체에 대한 관심과 일상생활에 활용이 늘어나면서 많은 다양한 분야에서 이를 이용하는 응용 사례가 급속도로 확산되고 있다. 하지만 이러한 무인 이동체는 쉽게 외부 환경 요인으로 인한 균형 이탈이나 추락 등의 사고로 이어질 수 있는 많은 위험 요인을 내포하고 있다. 이러한 무인 이동체의 안전한 운용을 위하여 안정적인 자세 제어 알고리즘은 매우 중요한 부분을 차지하고 있으며 현재 널리 사용되고 있는 PID 제어 알고리즘은 거의 완벽한 단계의 자세 제어 기술을 선보이고 있다. 본 연구에서는 기존의 자세 제어 방법과는 달리 보다 외부 환경적인 요인으로 부터 안정적이고 지속적인 자세 제어를 할 수 있는 퍼지 로직을 기반으로 하는 스마트 자세 제어 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통하여 기존의 방법과 그 성능을 비교 분석하고자 한다.

**주요어** : 퍼지 로직, 자세제어, 무인 이동체, 드론

**Abstract** Recently, with a great deal of attention and utilization to the UAV like a drone, many application cases using UAV in various fields have been proliferated rapidly. These UAV, however, has many risks like balance deviation and drone crash due to the external environmental factors. The attitude control algorithm for UAV is the most important portion in order to maintain the safe management of UAV, and the best solution is PID control algorithm which is generously used and almost perfect attitude control technology nowadays. In this paper, we propose the smart attitude control algorithm using fuzzy logic in order to provide safe and continuous attitude control against external environmental factors, and compare the performance through simulation study between PID and our algorithm.

**Key words** : Fuzzy Logic, Attitude Control, UAV(Unmanned Air Vehicle), Drone

#### 1. 서 론

오늘날 드론과 같은 무인 이동체 관련 기술은 하루가 다르게 빠른 속도로 발전하고 있으며, 이러한 무인 이동체를 이용하는 활용분야 역시 급속도로 팽창하고

있다[1]. 주로 드론을 이용하는 주요 분야를 살펴보면 드론 항공사진 및 동영상 촬영과 영상 분석 분야, 사람들이 도달하기 어려운 장소나 고도에서의 센서들을 이용한 상황분석 응용 분야, 국방 및 군사 목적용 조사 및 정찰과 침투 공격 응용 분야, 의료와 의약품 수송

\*종신회원, 세명대학교 정보통신학부(교신저자)  
접수일: 2019년 5월 15일, 수정완료일: 2019년 6월 14일  
게재확정일: 2019년 7월 7일

Received: May 15, 2019 / Revised: June 14, 2019

Accepted: July 7, 2019

\*Corresponding Author: sjoh@semyung.ac.kr

Department of Computer & Information Science, Semyung University, Korea

지원과 생물 및 환경 관련 활동 분야, 오지나 산악지형 등의 생태계 관련 탐사 및 조사 활동 분야, 자연재해로 접근이 어려운 지역의 조사나 인명구조 활동, 농약 살포 및 방제와 영농작업 활동 지원분야, 물류 배달 운송 서비스 및 로지스틱스 분야, 보안 및 통신과 엔터테인먼트 분야 등 그 활용 영역이 지속적으로 확산되고 있는 실정이다[1]. 원래 Drone은 무인 항공기를 뜻하는 단어로, 사전적으로는 수컷 꿀벌을 지칭한다[2]. 월스트리트 저널에 기고한 언어학자 Ben Zimmer의 기고문 “The Flight of Drone from Bees to Planes”에 따르면 무인 항공기를 드론이라 부르게 된 기원은 1930년대 중반 미국 윌리엄 스탠들리 장군이 영국 해군이 표적용으로 개발한 원격조종 비행기 DH 828 Queen Bee를 보고 부하에게 해군을 위해 유사한 것을 만들도록 지시하자 이 부하는 Queen Bee에 대한 존경의 표시로 Drone이라는 용어를 처음 사용하는데 기인한 것 이라고 한다[3].

최근 드론 같은 무인 이동체에 대한 관심과 활용이 급격히 증가 하면서 많은 다양한 분야에서 무인 이동체를 이용하는 응용 사례들이 급속히 확산되고 있는 실정이다. 무인 이동체를 운용하는데 있어 가장 중요한 요소로 꼽을 수 있는 것이 바로 안전이라 할 수 있으며 안전한 운영을 위해선 무엇보다도 무인 이동체의 안정적인 자세제어를 들 수 있다. 이를 구현하기 위해 지금까지 가장 널리 사용되고 있는 기술은 소위 PID 자세 제어 기술이라 불리는 비례·적분·미분(Proportional-Integral-Derivative) 제어기라 할 수 있다[4]. 이 제어기는 제어하고자 하는 대상 무인 이동체의 출력값을 원하는 설정값과 비교하여 오차를 계산하고, 이 오차값을 이용하여 제어에 필요한 제어값을 계산하는 구조를 갖는다. 이때 무인 이동체의 과도한 제어나 지속적인 제어로 유발되는 롤링 현상을 최소화하기 위해 미분항과 적분항을 두어 무인 비행체의 자세가 안정적으로 수평을 이루도록 조절한다. 오늘날 PID 제어기는 무인 이동체 자세 제어 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 자세 제어 기술이다[5].

본 연구에서는 기존의 방법과는 달리 외부 환경적인 요인에 대해 무인 이동체가 지속적이고 변동량이 적은 안정적인 자세 제어를 위한 퍼지 로직을 이용한 스마트 자세 제어 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘은 기존의 PID 제어 알고리즘과 모의실험을 통하여 그 성능을 비교 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 무인 이동체에 사용되는 PID 제어 알고리즘을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 퍼지 논리 기반 스마트 자세 제어 알고리즘을 서술하였고, 4장에서는 모의실험을 통해 제안한 퍼지 논리 기반 스마트 자세 제어 알고리즘과 기존의 PID 제어 알고리즘의 성능을 평가하고 비교 분석하였으며, 마지막으로 5장에서 향후 연구과제와 함께 결론을 맺는다.

## II. PID 제어 알고리즘

기계 공학 등 공학 분야 전반에서 주로 유연하고 세밀한 제어를 목적으로 자주 사용되는 기술로 PID 제어 기술을 들 수 있다. PID 제어란 자동제어 방식 가운데서 가장 흔히 이용되는 제어방식으로 원하는 값에 도달하기 위한 기초적인 자동 피드백 제어 방법 중 하나이다. 여기서 PID는 각각 P : Proportional(비례), I : Integral(적분), D : Derivative(미분)의 3가지 조합으로 제어하는 것으로 유연한 제어가 가능해 진다[5]. 따라서 PID 제어는 드론 개발에 중요하게 사용되는 원리이다. 가속도 자이로 센서를 이용해서 상보필터 원리를 사용해 Roll, Pitch, Yaw값을 구하고, 해당 값들을 이용해서 4축의 모터의 속도를 어떻게 제어해야 하는지 판단하기 위해 PID 제어 알고리즘을 사용한다[6]. 예를 들어, 드론이 기울어진 상태에서 수평 상태로 복원하기 위해 만약 오른쪽으로 기울어진 상태라면 오른쪽에 있는 두 날개의 모터를 강하게 회전시키고 반대로 왼쪽에 있는 두 개의 날개는 약하게 회전시켜야 한다. 이러한 모터의 속도 분배는 PID 원리를 이용해서 계산하게 된다[6].

PID제어를 위해서는 다음의 몇 가지 요소에 대한 정의가 필요한데 여기서  $e(t)$ 는 목표값에서 현재의 값을 차감한 오차값이고,  $MV(t)$ 는 제어량으로 현재 값에서 목표 값에 도달하기 위해 PID 제어기에 주어야 할 값을 의미한다.

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

식(1)은 표준 PID 제어를 위한 제어값을 계산하기 위한 수식으로 오차값 계산을 위한 비례항, 오차값의 적분값 계산의 적분항, 그리고 오차값의 미분값 계산의 미분항으로 구성되며 이를 비례-적분-미분 제어기라고도 불린다[5]. 여기서 비례 제어는 제어량을 목표값과

현재 위치와의 편차가 비례한 크기가 되도록 하며 서서히 조절하는 제어 방식으로 편차가 클수록 제어량이 커지게 된다. PID 제어에서 가장 큰 역할을 하며 목표값에 도달하는 속도 역시 꽤 많은 편이나 목표값에 가까워지면 더 이상 목표값에 수렴하지 못하고 어느 정도 편차가 있는 상태에서 더 이상 제어되지 않는 제어편차가 발생한다. 이를 해결하기 위해 Integral-적분항을 추가해서 이 잔류편차를 해소하기 위해 사용하는 것이 적분 PID 제어이다[5]. 즉, 미소한 잔류편차를 시간적으로 누적하여 어떤 크기로 된 곳에서 제어량을 증가시켜 편차를 없애는 방식이다. 하지만 이때 임계치에 도달하는데 시간이 너무 걸리고 급격한 변화에 대응하기 어렵다는 문제점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 PID 제어에 미분항을 추가하여 급격한 변화에도 대응하고, 목표값을 지나 넘어버리는 오버슈트를 줄여 안정성을 향상시키며 임계치에 도달시간을 줄인다. 여기서 각 항에 표시된 상수값  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ 의 역할이 중요하다.  $K_p$ 는 목표치에 도달하는 정도를 결정하는 상수로 너무 크면 제어량이 너무 커져서 롤링을 하게 되고 너무 작으면 제어에 어려움을 겪게 된다.  $K_i$ 는 목표치에 대한 정확도를 결정하는 상수로 너무 낮으면 목표치 근접에 어려움이 있고 너무 높으면 시간이 오래 걸리고 외부 환경 변화에 잘 대응하지 못한다. 따라서 역동적인 움직임을 중시하는 드론에서는 특히 이 상수의 세팅이 중요하다.  $K_d$ 는 목표치에 대한 속도를 결정하는 상수로  $K_p$ 의 조금 부족한 제어량을 보충해 주는 역할을 한다. 즉, 순간 제어량을 확 높이면서 목표치에 도달하는 도움단기 역할을 수행한다. 이 상수가 너무 낮으면 시간이 오래 걸리게 되고 반대로 너무 크면 롤링현상이 생기게 된다[6]. 무인 비행체의 안정적인 운용을 위하여 자세 제어 알고리즘은 매우 중요한 부분을 차지하고 있으며 현재 널리 사용되는 PID 제어 알고리즘은 거의 완벽한 단계의 자세제어 기술을 선보이고 있다.

### III. 퍼지-로직기반 자세 제어 알고리즘

이 장에서는 지금까지 사용되는 대표적인 자세 제어 알고리즘인 PID 제어 알고리즘을 대체할 수 있는 외부 환경 변화에 유연하고 안정적이며 지속적인 자세 제어를 수행 할 수 있는 퍼지 논리 기반 스마트 자세 제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

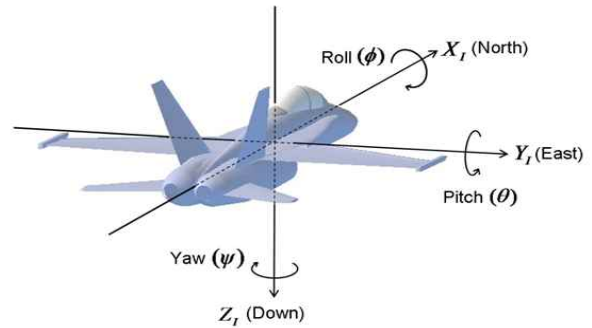


그림 1. 무인 이동체 자세 제어의 주요 요인들[2].  
 Figure 1. The major factors of UAV's Attitude Control.

드론 같은 무인 이동체의 자세 제어에 직접적으로 영향을 주는 주요 변수로는 위의 그림 1에서 보인바와 같이 Roll, Pitch 그리고 Yaw 값을 들 수 있다. 즉, Roll은 무인 이동체의 좌우, Pitch는 상하 그리고 Yaw는 좌우 회전의 진행방향에 영향을 주는 값으로 이들 중 상대적으로 Roll과 Pitch 값에 의해 주로 무인 이동체의 수평을 유지하는데 주요 변수로 작용하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 퍼지 논리 기반 스마트 자세 제어 알고리즘에서는 Roll과 Pitch 값의 수평으로부터의 이탈 정도를 기반으로 하여 차등적으로 무인 이동체의 모터에 퍼지 논리 기반 조작량을 부여하여 이에 따른 제어량에 의해 수평을 유지하도록 적용하였고, Yaw 값에 대해서는 회전 없는 안정적인 무인 이동체의 자세 제어를 위한 퍼지 규칙을 각각 적용하였다. 본 논문에서는 무인 이동체의 자세 제어 문제 해법을 단순화하기 위해 우선 무인 이동체의 자세 제어에 직접적으로 영향을 주는 주요 변수인 Roll, Pitch 그리고 Yaw 값들 각각 자세 제어에 영향을 미치는 이탈율에 대해 퍼지 논리 기반 조작율에 대한 제어율만 개별적으로 고려하였고, 이들 변수들이 서로 복합적으로 상호작용하여 발생하는 다양한 불균형 현상에 대한 동기화 문제는 여기서 고려하지 않는다.

다음의 그림 2와 3과 4는 각각 무인 이동체 자세 제어의 주요 변수인 Roll, Pitch 그리고 Yaw 값의 변화량에 대한 기본 퍼지 집합을 보여주고 있으며, Roll과 Pitch 그리고 Yaw의 외부 힘의 영향으로 인한 변화량에 따른 이탈정도에 따라 각 변수의 소속 함수에 의해 기본적인 세 개의 퍼지 집합으로 각각 사상된다[7][8].

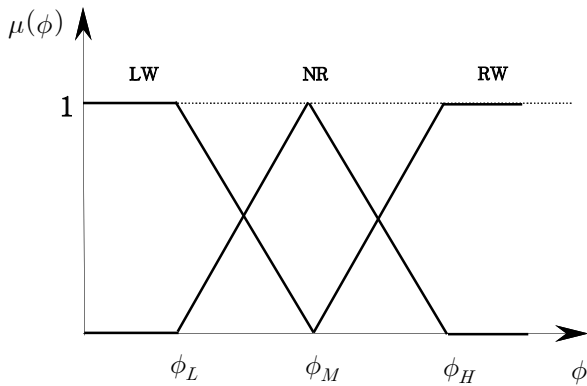


그림 2. Roll 변화량에 대한 기본 퍼지 집합  
Figure 2. Basic Fuzzy Set for Change Rate of Roll.

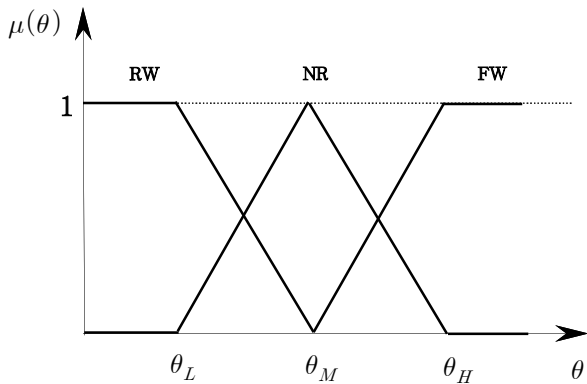


그림 3. Pitch 변화량에 대한 기본 퍼지 집합  
Figure 3. Basic Fuzzy Set for Change Rate of Pitch.

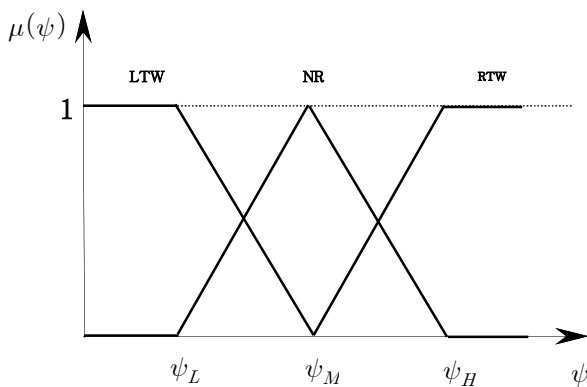


그림 4. Yaw 변화량에 대한 기본 퍼지 집합  
Figure 4. Basic Fuzzy Set for Change Rate of Yaw.

그림 5와 6과 7은 외부의 힘에 의해 작용되는 변화량에 의해 각각 무인 이동체의 자세 제어의 주요 변수인 Roll, Pitch 그리고 Yaw 값의 이탈율에 따른 자세 제어를 위한 퍼지 제어 규칙을 보여주고 있다[9][10].

Roll	LW	NR	RW
Ext. F.			
SR	SLM	SLM	NONE
MR	SLM	MLM	WRM
WR	MLM	WLM	MRM
NONE	MLM	NONE	MRM
WL	MLM	WRM	MRM
ML	WLM	MRM	SRM
SL	NONE	SRM	SRM

(Input variables)  
Roll : Change rate of Roll,  
LW - Left Warning, NR - Normal, RW - Right Warning  
Ext. F. : Change rate of External Force  
SR - Strong Right, MR - Medium Right, WR - Weak Right  
WL - Weak Left, ML - Medium Left, SL - Strong Left  
(Output variables)  
SLM - Strong Left Motor, MLM - Medium Left Motor, WLM - Weak Left Motor  
SRM - Strong Right Motor, MRM - Medium Right Motor, WRM - Weak Right Motor

그림 5. Roll에 대한 퍼지 제어규칙.  
Figure 5. Fuzzy Control Rule for Roll.

Pitch	RW	NR	FW
Ext. F.			
SF	SRM	SRM	NONE
MF	SRM	MRM	WFM
WF	MRM	WRM	MFM
NONE	MRM	NONE	MFM
WR	MRM	WFM	MFM
MR	WRM	MFM	SFM
SR	NONE	SFM	SFM

(Input variables)  
Pitch : Change rate of Pitch,  
RW - Rear Warning, NR - Normal, FW - Front Warning  
Ext. F. : Change rate of External Force  
SF - Strong front, MF - Medium Front, WF - Weak Front  
WR - Weak Rear, MR - Medium Rear, SR - Strong Rear  
(Output variables)  
SRM - Strong Rear Motor, MRM - Medium Rear Motor, WRM - Weak Rear Motor  
SFM - Strong Front Motor, MFM - Medium Front Motor, WFM - Weak Front Motor

그림 6. Pitch에 대한 퍼지 제어규칙.  
Figure 6. Fuzzy Control Rule for Pitch.

그림에서 보인바와 같이, Roll과 Pitch의 상황 정보에 대한 이탈율에 대해 외부의 7가지의 상황 규칙을 적용하여 각각 6가지의 퍼지 제어 규칙을 결정하였고, 반면 Yaw의 상황 정보에 대한 이탈율에 대해서는 외부의 3

Yaw Ext. F.	LTW	NR	RTW
R	SRLM	RLM	NONE
NONE	RLM	NONE	RRM
L	NONE	RRM	SRRM
(Input variables)			
Yaw : Change rate of Yaw,			
LTW - Left Turn Warning, NR - Normal, RTW - Right Turn Warning			
Ext. F. : Change rate of External Force			
R - Right, L - Left			
(Output variables)			
SRLM - Strong Rear & Left Motor, RLM - Rear & Left Motor			
SRRM - Strong Rear & Right Motor, RRM - Rear & Right Motor			

그림 7. Yaw에 대한 퍼지 제어규칙.  
 Figure 7. Fuzzy Control Rule for Yaw.

가지의 상황 규칙을 적용하여 퍼지 제어 규칙을 결정하였다.

#### IV. 모의실험 및 고찰

이 장에서는 본 논문에서 제안한 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘의 성능을 모의실험을 통해 평가하고 이를 지금까지 널리 사용되고 있는 PID 제어 알고리즘과 비교 분석하였다.

표 1. 성능평가를 위한 파라미터  
 Table 1. Parameters in Simulation

Parameters		Values	
Simulation time(sec)		8	
PID control Variables[5]		$K_p$	5
		$K_i$	3
		$K_d$	0.4
Fuzzy control variables	Ext. F. Boundaries	Weak	10% ~ 40%
		Medium	40% ~ 70%
		Strong	70% ~ 100%
	Amount of Control	Strong	40%/unit time
		Medium	15%/unit time
Weak		8%/unit time	

표 1은 본 논문에서 제안한 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘을 기존의 PID 제어 알고리즘과 성능평가를 하기위해 사용한 파라미터를 보여준다. 두 알고리즘간의 성능 비교를 위해 이미 알려진 PID 제어 알고리즘의 성능평가 환경에 근접하게 맞추어서 성능

평가를 진행하였으며, 본 논문에서 제안한 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘의 성능평가에서 외부 환경의 영향에 의해 수평으로부터 벗어난 정도를 나타내는 이탈율을 표에서 보인바와 같이 Strong, Medium, 그리고 Weak 등 3단계로 나누어서 퍼지 로직을 적용하였고, 이때 수평의 자세 제어를 위한 모터 조작량 역시 표에 보인바와 같이 3단계로 나누어서 적용하였다. 그리고 모터 조작에 의한 자세 제어에 반영되는 제어량의 적용에는 약간의 시간적 지연(약 평균 0.2 sec)이 있다고 가정하여 모의실험을 진행하였다.

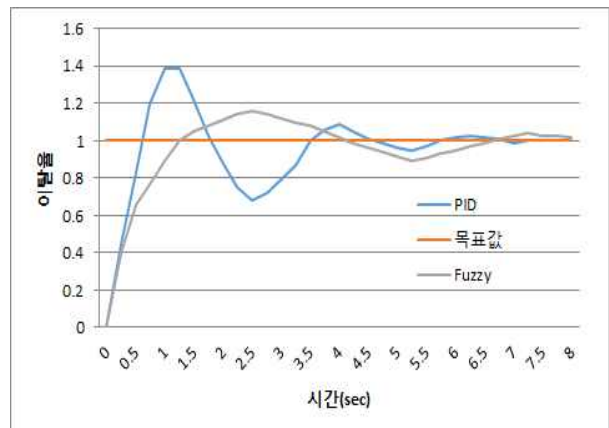


그림 8. 모의실험 결과.  
 Figure 8. Results of the Simulation Study.

그림 8은 본 논문에서 제안한 스마트 자세 제어 알고리즘에 대한 모의실험을 통한 성능평가 결과를 PID 제어 알고리즘의 성능과 비교하여 보여준다. 그림에서 보인바와 같이, 무인 이동체에 외부 환경으로부터 가해진 힘에 의해 심하게 무인 비행체의 자세가 균형을 잃어 경고 단계에 이르렀을 상황에 이를 자세 제어를 위해 수평으로 복원하도록 무인 이동체의 모터가 조작을 개시하여 목표값 1의 수평을 이를 때까지의 과정을 보여주고 있다. 그림에서 PID 제어 알고리즘의 경우 균형을 잡기 위한 모터의 조작에 의해 초기에는 무인 이동체가 상하 좌우로 심하게 롤링하는 것을 알 수 있으나 그 변동량의 폭은 급격히 줄어들어 빠른 시간 안에 목표값 1의 수평에 이르는 것을 알 수 있다. 이렇게 단시간 내에 상하 좌우 변동량을 급격히 줄일 수 있는 것은 PID 알고리즘의 미분항과 적분항에 기인하는 것으로 사료된다. 반면, 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘의 경우 초기 균형 복원 단계에서 PID 제어 알고리즘보다 롤링 변동량이 극히 적음을 알 수 있는데 이

는 균형 복원을 위해 모터의 작동에 의한 복원의 정도에 따라 퍼지 로직에 의해 차등적으로 모터의 조작량이 다르게 적용됨으로써 PID 제어 알고리즘과는 달리 초기 균형 복원 단계에서 심한 롤링 현상은 볼 수 없었다. 하지만 목표값 1의 수평을 이룰 때까지 소요되는 시간은 PID 제어 알고리즘보다 상대적으로 오랜 시간이 소요되고 있음을 알 수 있다. 이는 스마트 자세 제어 알고리즘의 경우 모의실험 초기의 극단적인 자세 불균형 상황에서 자세 복원을 위해 모터 조작이 개시되고 어느 정도 복원이 이루어지는 순간 퍼지 로직에 의해 차등적으로 모터의 조작량이 다르게 적용됨으로써 상대적으로 심한 롤링현상 없이 균형에 이르게 된다 하지만 이후 미세한 롤링에 대해서는 적절한 조치 방법이 없으므로 목표값 1의 완전 수평에 이르기까지의 시간은 상대적으로 길어짐을 알 수 있다.

## V. 결 론

최근 드론과 같은 무인 비행체에 대한 관심과 활용이 급격히 증가 하면서 많은 다양한 분야에서 무인 이동체를 이용하는 응용 사례들이 급속히 확산되고 있는 실정이다. 하지만 이러한 무인 이동체는 외부 환경 요인으로 인한 균형 이탈이나 추락 등의 사고로 많은 위험 요인을 내포하고 있다. 따라서 무인 이동체의 안정적인 운용을 위해서 자세 제어 알고리즘은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 무인 이동체에 대한 자세 제어 알고리즘으로는 PID 제어 알고리즘을 들 수 있는데 이 알고리즘은 무인 비행체에 대해 거의 완벽한 단계의 자세 제어 기술을 선보이고 있다.

본 연구에서는 기존의 방법과는 달리 보다 외부 환경적인 요인에 비교적 큰 변화량 없이 안정적인 지속적인 자세 제어를 수행하기 위해 퍼지 로직을 이용한 스마트 자세제어 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통하여 기존의 방법과 그 성능을 비교 검토하였다. 모의 실험 결과 PID 제어 알고리즘의 경우 균형을 잡기 위한 모터의 조작에 의해 초기에는 무인 비행체가 상하 좌우로 심하게 롤링하는 것을 알 수 있었으나 그 변동량의 폭은 급격히 줄어들어 빠른 시간 안에 목표값 1의 수평을 이루는 것을 알 수 있다. 반면, 본 논문에서 제안한 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘의 경

우 초기 균형 복원 단계에서 PID 제어 알고리즘보다 롤링 변동량이 극히 적음을 알 수 있는데 이는 균형 복원을 위해 모터의 작동에 의한 복원의 정도에 따라 퍼지 로직을 적용하여 차등적으로 모터의 조작량이 다르게 적용됨으로써 PID 제어 알고리즘과는 달리 초기 균형 복원 단계에서 심한 롤링 현상은 볼 수 없었다. 하지만 목표값 1의 수평을 이룰 때까지의 소요되는 시간은 PID 제어 알고리즘보다 상대적으로 오랜 시간이 소요됨을 알 수 있었다. 이는 극단적으로 심한 균형 이탈 현상이 아닌 이상 약간의 불균형에 대한 자세 제어의 경우 제어 변동량이 상대적으로 작은 퍼지 로직 기반 스마트 자세 제어 알고리즘이 극심한 상하 좌우 롤링 현상 없는 제어 측면에서 더욱 안정적인 자세 제어가 구현될 수 있다고 생각된다. 향후 연구과제로는 자세 제어에 영향을 미치는 Roll, Pitch, 그리고 Yaw 값이 복합적으로 작용하는 환경에서의 이들 변수들의 서로 복합적으로 상호작용하여 발생하는 자세 불균형 현상에 대한 동기화 문제에 관한 것이다.

## References

- [1] M. W. Seo, et. al., *Arduino Drone*, Answer Book Pubs., pp. 214, 2017.
- [2] S. J. Lim, *DIY Drone*, CNDI Pubs., pp. 281, 2017.
- [3] S. K. Lee, *Dron A to Z*, Answer Book Pubs., pp. 232, 2017.
- [4] <https://github.com/seochangwook/DronProject>
- [5] <https://ko.wikipedia.org/wiki/PID>
- [6] <http://www.ktechno.co.kr/pictech/motor05.html>
- [7] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information Control*, Vol. 9, pp. 338 - 353, 1965.
- [8] S. J. Oh, "Design of Fuzzy Logic based Central Control System in USN", *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC)*, Vol. 14, No. 6, pp. 183 - 188, Dec. 2014. doi: 10.7236/JIIBC.2014.14.6.183
- [9] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller", *IEEE Trans. System Man Cybern.*, Vol. 20, No. 2, pp. 419 - 435, 1990.
- [10] S. J. Oh, Y. D. Lee, "Fuzzy Logic based Mobility Management Scheme in MANETs", *The International Journal of Advanced Culture Technology (IJACT)*, Vol. 1 No. 2 pp. 7 - 13, 2013.