

## 드론 기술을 이용한 부력 조형물의 자세 제어

강진구\*

### *Posture control of buoyancy sculptures using drone technology*

Kang Jingu

#### 〈Abstract〉

The floating sculptures in the form of ad-ballon commonly used ropes in order to hold on. Relatively air flow is much less indoor than outdoor. Users of buoyancy sculptures hope to be able to maintain their desired posture without being fixed.

This study applied drone technology to buoyancy sculptures. The drones can be moved vertically and horizontally, and the posture can be maintained, so buoyancy sculptures are easy to apply. Therefore, we have studied the control system of buoyancy sculpture using drone technology. Also, a control system that can maintain the desired posture at a constant height was studied. The overall shape was a light fiber material and helium gas for zero buoyancy to support the sculpture. The system configuration was STM32F103CB from ARM. In addition, the gyro and acceleration, geomagnetic sensors and motors are composed of small and medium size BLDC motors.

The scheduling of the control system in the configuration of the control device was carefully considered. Because the role of the whole component becomes very important. The communication between the components is divided into the sensor fusion and the interface communication with the whole controller. Each communication technology is designed to expand.

This study was implemented to actively respond from the viewpoint of posture control using the drone technology.

Key Words : Drone, Buoyancy Sculptures, Sensor Fusion, Zero Buoyancy, Scheduling

## I. 서론

드론(Drone)의 사용 범위가 다양해지고 있는 현재, 드론을 이용한 적용분야는 현 산업계에서 크게 기대되어지고 있다. 무인 비행체는 여러 종류가 있지만

드론은 긴 활주로가 필요 없으며 헬리콥터와 같이 수직이착륙(VTOL) 및 공중정지비행(Hovering)이 가능하고 유지보수가 타 기종에 비해 용이하며 다른 비행체에 비하여 조작성이 쉬운 형태이며 구조적으로 대칭인 장점이 있어 상대적으로 시스템 모델링이 간단한 장점이 있다[1]. 본 연구에서 제작된 드론과 부력 조

\*강동대학교 자동차과 부교수

형물과의 결합된 형태의 드론은 전체 무게와 배터리 사용 시간 및 기타 시스템 변수에 매우 제한적이므로 실제 환경에서 제어할 경우 많은 불확실성이 포함되어 있다. 따라서 본 연구에서는 0(Zero) 부력에 가까운 부력 조형물과 드론의 상호 협동에 의한 자세 제어를 수행하므로 전체 시스템의 안정도와 효율성을 높이는데 주력하였다. 드론의 비행 과정에서 시스템 자세의 해는 무한히 많았으며 그 중 최적의 수평 자세를 유지하기 위한 제어방식에 따라 작업을 수행하는데 따른 효율성이 달라지므로 최적의 자세를 가지고 작업의 성능을 최적화 하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 드론과 직렬로 결합된 부력 조형물을 설계하여 실험하였으며 이는 독립된 하나의 시스템이 아닌 다른 두 가지 이상의 시스템의 결합에 의한 환경과 성능을 고려한 특이자세 회피, 기계적 부위의 효율적인 활용, 조정성의 증대 등의 이점을 가진다. 제안된 부력 조형물의 자세 제어를 위한 드론은 일반적인 드론 시스템의 구조에서 프로펠러를 추가하여 응용한 형태로 설계 하였으며 드론과 부력 조형물도 작업에 대해 넓은 작업 범위를 확보하기 위하여 작업에 대한 최적 작업 자세에 의한 협동제어를 수행하였다. 작업의 효율성 및 안정도를 개선하기 위한 방법으로 부력 조형물은 공중부양을 손쉽게 하기위하여 0(Zero) 부력으로 설계·제작하였으며 제작된 드론의 구성은 기존의 4개의 프로펠러와 추가로 수직으로 2개의 방향전환을 위한 프로펠러를 배치하므로 부력 조형물과 드론에 적절히 작업을 분배해주고 각각의 시스템에 주어진 작업을 위해 적합하도록 재구성해 줌으로 전체 시스템에 효율성과 안정성이 확보하였다. 또한 제어 시스템에 많이 활용되고 있는 PID 알고리즘을 이용하므로 누구나 손쉽게 접근할 수 있음을 시뮬레이션과 실험에 통해 구현된 시스템을 검증하고 그 실현성과 타당성을 보여주었다.

## II. 관련연구

드론(Drone)의 한 형태인 무인 비행체는 초기에 군사용 목적으로 개발되었지만 다양한 분야에 응용되고 있으며 앞으로는 더 많은 분야에 적용 될 것으로 보인다[1]. 기존의 일반적으로 상업화되어 있는 드론은 취미용으로 널리 이용되고 있었다. 그러나 이제는 그러한 한계점을 넘어 산업용으로 개발되고 있으며 국가의 중요한 정책 중 하나가 되었다. 2108년 평창 동계 올림픽의 개최식에서는 공중에 다수의 드론을 이용한 오륜기 및 기타 형상을 표현하는 협동제어를 수행하는 퍼포먼스를 보였다.



< 그림 1 > 다수의 드론을 이용한 오륜기 구현  
(출처] 2018 평창 동계올림픽 개최식 주요장면.)

운송 분야에서도 무인항공기와 같은 새로운 운송수단이 연구되고 있으며 물류서비스 제공자인 중소기업에서는 운송서비스의 효율성, 신속성, 고객 만족도를 향상시키기 위해서는 드론을 적용한 신 개념 운송서비스 모델을 연구하고 있다. 드론은 조종사가 탑승하지 않고 자율비행과 원격조종이 가능하며 신 성장 동력이 될 수 있는 최신 기술로서 군사적 목적 외에 민간용과 상업용으로 확대될 것으로 전망된다 [2]. 현재 4차 산업혁명 관련 기술로는 사물인터넷, 드론, 인공지능 및 빅 데이터 기술 중에 포함되어 큰 관심을 받고 있다. 이러한 기술들 중 특히 드론 분야는 다양한 센서와 효율이 우수한 모터제어기술 및 제어

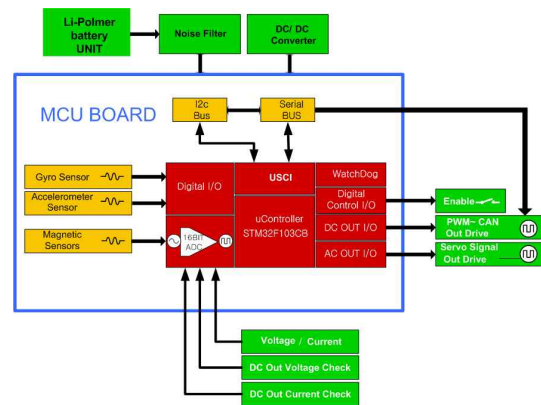
기술들의 퓨전(Fusion)기술로서 그 활용성이 가장 높다고 평가받고 있다[2]. 드론을 이용한 다른 시스템의 제어분야를 확대하므로 폭넓은 응용을 내포하고 있다. 정부에서는 드론 관련 산업의 성장을 위해서 연구개발 투자 확대, 법·제도 정비, 산업 육성정책 수립 등에 대한 정책적 노력을 기울이고 있다[3].

### III. 제어기 설계 및 구현

#### 3.1 시스템 설계

본 연구에서는 기존의 드론과 0(Zero) 부력을 가지는 공중부양 조형물을 직렬로 결합한 방식으로 0(Zero) 부력을 가진 공중부양 조형물의 지속적인 자세와 방향, 높이 등을 유지기 위하여 드론을 조형물에 적합한 구조로 변형하여 설계·제작하였으며 기존의 드론 자체만의 연구와 차별성을 가진다. 시스템의 구성은 고속 마이크로프로세서와 센서퓨전을 이용한 제어기술을 바탕으로 부양 시 원하는 높이에서 고정된 자세를 유지할 수 있는 제어기 시스템을 설계해야 하였다. 조형물은 0(Zero) 부력을 만들기 위하여 헬륨 GAS를 이용하였으며 지속적으로 원하는 높이와 자세를 유지할 수 있어야 하므로 위치, 방향, 정지, 시간이라는 관점으로 접근하였다[4]. 조형물과 결합될 시스템의 디자인 및 모터와 프로펠러의 위치선정과 자이로, 가속도, 고도계 센서를 융합하는 시스템 프로그램과 전체 시스템 스케줄링이 필요하다. 본 연구에서는 제어기의 환경은 시스템에 총체적으로 조화롭게 제어할 수 있는 시스템으로의 역할이 중요시 되어 이에 맞도록 설계되어야 한다. 본 연구에서는 드론 시스템의 하드웨어를 기존의 4개의 프로펠러와 2개의 방향전환 프로펠러의 구성으로 설계·제작하였다. 공중부양을 위한 조형물에 부착되어질 센서로는 다수의 자이로 및 가속도 센서와 프로펠러 구동은

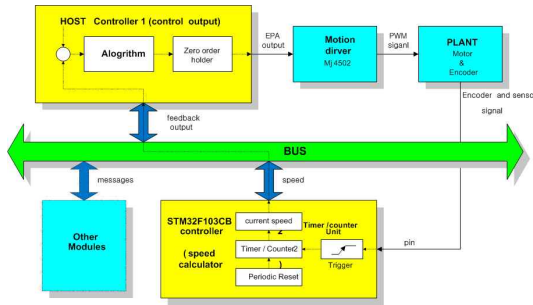
BLDC모터를 사용하였다. 자이로 및 가속도 센서는 시스템의 기울기를 측정하기 위하여 사용하였다. 고도계는 시스템의 높이를 측정하기 위하여 사용되었다. 드론의 전체 무게는 약340g으로 최대한 가벼운 상태를 유지하기 위한 시스템설계가 필요하였다. 제어 시스템은 입력되는 각각의 센싱 신호들로부터 검출하여 각각의 센싱 수치들을 파악하고, 각 입력 및 피드백 되는 신호에 따른 출력을 제어할 수 있는 시스템으로 구성하였다. 각각의 센서신호 변환 제어를 위한 센서의 검출 및 계산은 센서 제어기에서 담당한다. 센서제어기는 동작 신호를 검출한 후 16비트 A/D 과정을 거쳐 디지털 신호로 변환된 값을 입력 받을 수 있는 입력단과 입력받은 신호를 필터링을 통한 다음 사용자가 원하는 출력신호를 만들기 위하여 알고리즘과 연산과정으로 이어진다. 그림 2는 제어기의 구성모델을 나타내었다.



<그림 2> 제어기 구성 모델

모터의 정/역 방향 운전에 의한 각각의 신호들로부터 검출하여 각 축들의 현재 상태를 파악하고, 각 입력 및 피드백 되는 신호에 따른 모터를 제어할 수 있는 제어기를 구성한다. 자세 제어를 위한 센서의 검출 및 계산은 하위구조의 센서 제어기에서 담당한다. 센서 제어기는 모터의 회전으로부터 동작 신호를

검출한 후 디지털 신호로 변환된 값을 입력 받을 수 있는 입력단과 입력받은 신호를 필터링을 거쳐 각각의 속도 등을 센서로부터 검출한다. 다음으로 센서 계산 및 센서관련 알고리즘을 연산하기위한 제어부는 모터의 상황을 관리하는 프로그램을 저장하고 있는 프로그램 메모리와 각 입출력 센서들로부터 받은 신호를 저장하기 위한 데이터 메모리를 갖추고 있다. 또한 통합제어를 위한 시스템은 타 기기들과의 연결도 가능하도록 설계한다. 그림 3은 통합 제어를 위한 전체적 제어부의 구성을 보여주고 있다.



<그림 3> 통합제어 시스템 구성

시스템의 자세 제어를 위하여 PID 알고리즘을 사용하였다. PID 제어 알고리즘은 구동모터의 중요한 시스템 특성, 즉 샘플링 타임, 정상상태 오차, 시스템 안정도 등을 제어한다. 3개의 Gain상수의 설정은 좋은 시스템 특성을 갖고 빠른 시스템 응답을 만드는데 중요하다. 표준형 PID 제어기 제어입력은 식 1과 같이 표시된다.

$$m(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

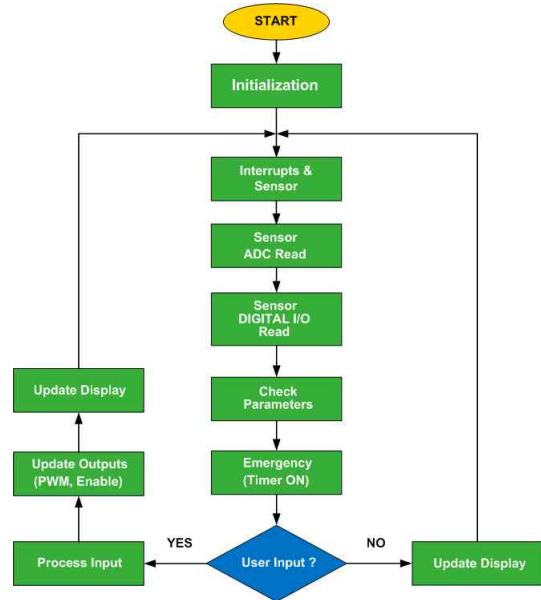
$$= K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

자세를 위한 센서는 자이로와 가속도센서를 사용

하였으며 가속도는 3축 값(X축, Y축, Z축)과 자이로는 2축의 값을 출력한다. 3축 가속도이므로 X, Y, G의 가속도 출력을 얻을 수 있다. X방향으로 기울어졌을 때 가속도 x의 출력 값, y는 Y축 방향으로 기울어졌을 때 출력 값, z는 가속도 센서의 z출력 값이라 할 때  $\theta$ 는 식 2와 같이 나타난다[5].

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{x}{z} \right) \quad (2)$$

그림 4는 프로그래밍을 위한 Flowchart를 나타내었다.



<그림 4> MCU Flowchart

### 3.3 시스템 구현

주 제어기는 Setting 시스템으로부터 전송받은 정보를 기반으로 시스템 전체를 제어한다. 주 제어기의 Main 프로세서는 ARM의 STM32F103CB를 사용하였



<그림 5> 제작된 0(Zero) 부력의 공기조형물



<그림 6> 제작된 시스템

다[6]. 모터를 제어하기 위한 프로세서는 dsPIC30F4012를 사용하였으며 프로펠러 구동은 BLDC모터를 사용하였다[7-8]. 방향전환을 위한 프로펠러는 6인치 좌·우 2개를 사용하였으며, 상하 높이 및 자세 제어를 위한 프로펠러는 8인 4개를 사용하였다. 실험을 위해 제작된 부력 조형물의 크기는 1.5m x 3m 로 제작을 하였으며 부력 조형물과 제작된 시스템과의 연결을 위한 Bar를 제작하였다. 공중부양을 위한 공기조형물은 0(Zero) 부력을 만들기 위하여 헬륨 GAS를 이용하였다. 그림 5는 테스트를 위해 제작된 0(Zero) 부력을 가진 조형물을 보여주고 있으며 그림 6은 구현된 전체 시스템을 보여주고 있다.

#### IV. 실험 및 분석

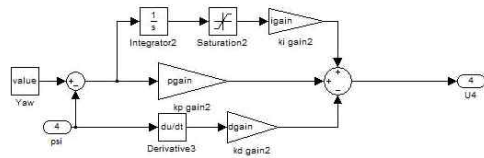
그림 7은 자세 제어를 위한 제어기의 PID 블록을 나타내었다. 시스템의 높이와 Roll, Pitch, Yaw를 제어하기 위한 PID 제어기에 제어기의 Gain 값은 각각  $K_p=7$ ,  $K_i=0.03$ ,  $K_d=14$ 이며 방향전환을 위한 2개의 모터를 제어하기 위한 제어기의 Gain 값은  $K_p=5$ ,

$K_i=0.5$ ,  $K_d=9$ 이다. 시스템에 자세 변화를 주었을 경우 원하는 위치로 수렴하는가를 측정하기 위한 시뮬레이션과 실제 측정값을 비교하였으며 모두 약 2 sec 안에 들어오는 결과를 얻었다. 그림 8은 시스템에 높이를 5M 변화를 주었을 때 경우 시스템이 자세를 유지하는 출력 결과를 보여주고 있다. 초기에는 약간의 오버슈트가 있었지만 약 900 mm/sec에서 지정된 높이를 수렴하는 것을 볼 수 있으며 고도계 센서를 이용하여 데이터를 얻었다.

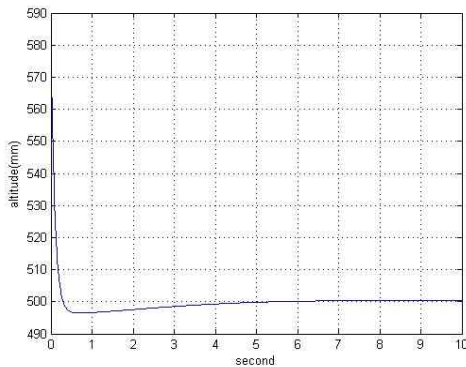
그림 9는 5m 높이에서 자세를 유지할 때 Roll, Pitch, Yaw를 시뮬레이션 한 결과이며 그림 10은 실제 측정된 Pitch, Roll 응답 결과이며 시뮬레이션과 실험에서와 같이 자세 유지가 충분히 수렴하는 것을 볼 수 있다.

#### V. 결론

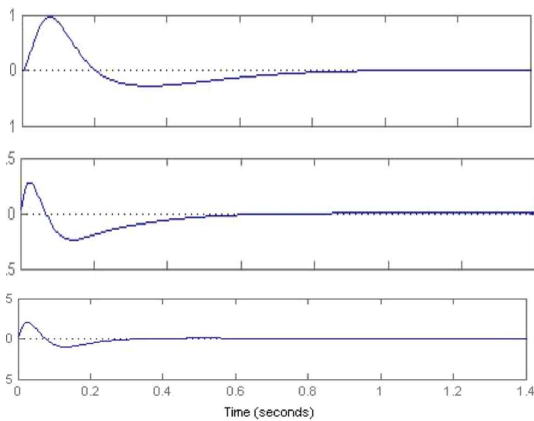
본 연구에서는 공중부양 조형물의 자세 제어를 위한 드론을 접목한 시스템을 구현하였다. 본 연구에서는 드론과 0(Zero) 부력을 가지는 조형물과의 결합으



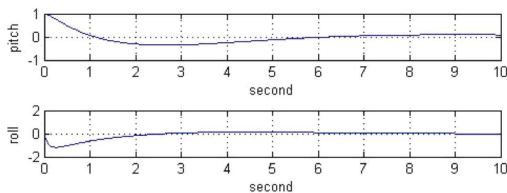
<그림 7> PID 블록도



<그림 8> 5m 높이에서 자세 유지



<그림 9> PID 제어기 Pitch, Roll, Yaw 시뮬레이션



<그림 10> PID 제어기 Pitch, Roll 응답

로 공중부양이 가능한 조형물을 연구하였으며 기존의 4개의 프로펠러만을 가지는 드론 시스템에 방향전환 프로펠러 2개를 추가하여 조형물이 공중에 떠 있는 상태에서 부력 조형물의 자세를 손쉽게 제어할 수 있는 시스템을 연구하였다. 기존의 드론은 시스템 자체만의 수평유지를 구현하고 있지만 본 연구에서는 기존의 드론에 부력조형물을 결합한 형태로 이러한 연구는 드론 기술이 산업계에서 많은 응용분야에 손쉽게 적용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 드론을 설계할 때 산업용에 집목하기위하여 디자인에서부터 기존의 드론 구성에 양쪽 방향 제어를 위한 수직의 프로펠러를 부착하였으며 높이 제어를 위한 수평의 프로펠러를 이용하였다. 또한 일반적 드론은 시스템 자체를 부양하기위하여 지속적인 프로펠러의 동작이 이루어져야하지만 구현된 시스템은 헬륨 GAS를 이용한 0(Zero) 부력을 이용하여 원하는 자세가 이루어지면 동력이 제거되므로 장시간 시스템 사용이 가능하다는 점에서 차별성을 가진다. 본 연구에서는 PID 제어기를 통한 시뮬레이션과 실제 제작한 드론과 부력 조형물의 결합하여 실험하였으며 시뮬레이션에서 외란에 의한 수렴은 약 1sec에서부터 수렴을 시작하였으며 실제 실험에서는 약 1.5sec에서부터 수렴을 시작하였다. 이는 실험 중 다양한 주위환경의 외란에 의한 것으로 판단되며 전체적으로 원하는 실험 결과와 응답을 확인하였으며 시스템의 요구조건에 적합하게 자세 제어가 실현됨을 검증하였다.

### 참고문헌

- [1] 김준성, "소형 쿼드콥터의 자세 제어를 위한 제어기 구현," 호서대학교 대학원 미출판 학위논문(석사), 2018.
- [2] 이충희, "드론 기술개발 최근 동향과 전망," 한국물리학회, 제65권, 제12호, 2015, pp. 1141-1158.



- [3] 박재훈, 김용정, “드론기술과 한국물류산업의 발전방향,” 한국항공경영학회 추계학술발표 논문집, 2016.
- [4] 강진구, “무 고정 공중부양 조형물의 자세 제어 장치 설계 및 성능평가,” 디지털산업정보학회지, 제13권, 제3호, 2017, pp. 11-17.
- [5] 강진구, “ARS를 이용한 2바퀴 로봇의 자세 제어에 관한 연구,” 디지털산업정보학회지, 제9권, 제1호, 2013, pp. 73-78.
- [6] 마이크로칩 기술지원부, “마이크로칩 마이크로컨트롤러 응용 - 모터컨트롤,” 마이크로칩사, 2006.
- [7] 강진구, “CCS-C를 이용한 PIC 마이크로컨트롤러 기초 활용,” 문운당, 2013.
- [8] Intel Lab mcs-96 8x9x Architectural Overview.

■ 저자소개 ■



강진구  
(Kang Jingu)

2001년 3월~현재  
강동대학교 자동차과 부교수  
2001년 2월 부산대학교 전자공학과(공학박사)  
1998년 2월 부산대학교 전자공학과(공학석사)  
1995년 2월 금오공과대학교 전자공학과  
(공학사)  
관심분야 : 자동제어, 인공지능로봇, 협동제어  
E-mail : jgukang@gangdong.ac.kr

논문접수일 : 2018년 10월 29일
수정일 : 2018년 11월 12일 (1차)
2018년 11월 29일 (2차)
게재확정일 : 2018년 12월 3일