

## 무 고정 공중부양 조형물의 자세 제어장치 설계 및 성능평가

강진구\*

### *Design and Performance Evaluation of Attitude Control System for Unfixed Levitation Sculptures*

Kang Jingu

#### 〈Abstract〉

The aerial support air sculptures currently exhibited in indoor spaces are similar to simple ad balloons, using multiple rope strands. Users now want more advanced unfixed sculptures, and hope these will develop into buoyant sculptures that can maintain the attitudes that users want on their own. This study investigated an attitude control system for unfixed levitation sculptures that can levitate with no rope and continuously maintain a certain attitude at a height specified by the user. To facilitate levitation, the exterior part of the sculpture was made of lightweight fibers, and the interior part was filled with helium gas. The controller was composed of a microprocessor of the dsPIC30F line from microchip, gyro, acceleration, and earth magnetic field sensors, and a highly efficient brushless DC (BLDC) electric motor. The attitude and position control system requires scheduling considering the trajectories of the sculpture and the control system, because the roles of the overall components are more important than those of a single controller. Furthermore, the system was designed like a fusion system that is expanded and controlled as a total controller, because it is interconnected with various sensors. The attitude control system of buoyant sculptures was implemented in this study, such that it can actively cope with the position, direction, stopping, and time aspects. The system performance was then evaluated.

Key Words : Air Sculptures, Levitation, Gyro and Acceleration, Position Control, Fusion System

### I. 서론

자동화 시스템은 여러 분야에 적용되고 있으며 광고 및 이벤트의 목적으로 전시되는 공기조형물에 까지 적용되고 있다. 현재 실내에서 전시되는 공중

부양 공기조형물은 여러 가닥의 로프를 이용한 단순한 에드벌룬 형태다. 이용자들은 이제 고정된 전시물에서 벗어나 더욱 진보된 형태의 무 고정 조형물을 원하고 있으며, 사용자가 원하는 자세를 스스로 유지할 수 있는 부력조형물로 발전하기를 바라고 있다. 본 연구에서는 드론(Drone)기술을 응용하여, 로

\* 강동대학교 자동차과 부교수

프 없이 무 고정이면서 공중부양이 가능하며 사용자가 지정한 높이에서 일정한 자세를 지속적으로 유지할 수 있는 공중부양 조형물의 자세 제어장치를 연구하였다. 조형물의 외형은 공중부양을 위해 가벼운 경량 형 섬유소재이며 내부는 헬륨가스로 구성되어 0부력을 만들었다. 주 제어기의 Main 프로세서는 마이크로칩사의 dsPIC30F 계열을 사용하였으며 자이로 및 가속도, 지자계 센서와 BLDC모터로 구성하였다. 자세 및 위치 제어장치는 단일 제어기의 역할보다 전체의 구성요소의 역할이 매우 중요해지므로 조형물과 제어시스템의 유적관계를 고려한 스케줄링이 필요하며 자이로, 가속도, 지자계 센서와 연동시키므로 전체의 제어기로 확장하여 제어되는 퓨전(fusion)시스템의 방향으로 설계되었다. 본 연구에서는 자세 제어장치로서 위치, 방향, 정지, 시간이라는 관점에서 능동적으로 대처할 수 있도록 구현되었으며 그 성능을 평가해 보았다.

## II. 관련연구

드론 (무인항공기)은 조종사가 탑승하지 않고 자율비행과 원격조종이 가능한 비행체를 말하며, 신성장 동력이 될 수 있는 최신 기술로서 군사적 목적 외에 민간용과 상업용으로 확대될 것으로 전망된다[1]. 현재 4차 산업혁명 관련 기술로는 사물인터넷, 드론, 인공지능 및 빅데이터 기술들이 큰 관심을 받고 있다. 이러한 기술들 중 특히 드론 분야는 다양한 센서와 효율이 우수한 모터제어기술 및 제어기술들의 퓨전(Fusion)기술로서 그 활용성이 가장 높다고 평가받고 있다[2]. 기존의 드론 기술은 취미용으로만 사용되었으며 이제는 그러한 한계점을 넘어 상업용으로 개발되고 있으며 국가의 중요한 정책 중 하나가 되었다. 또한 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. 정부에서는 드론과 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

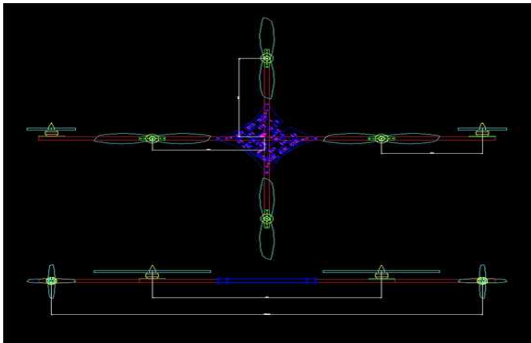
### 3.1 제어기 요구사항 분석

본 연구에서는 기존의 드론 방식을 응용한 무 고정 형태의 부력 조형물과 결합하여 공중에서 지속적인 자세와 방향, 높이 등을 유지할 수 있는 시스템 구성이라는 부분에서 기존의 기술과 차별성을 가진다. DSP 마이크로프로세서와 센서퓨전을 이용한 제어기술을 바탕으로 부양 시 원하는 높이에서 고정된 자세를 유지할 수 있는 제어기 시스템을 설계해야 한다. 부력은 헬륨가스를 이용한 0부력으로 제작되어야 하며 지속적으로 원하는 높이와 자세를 유지할 수 있어야 하므로 위치, 방향, 정지, 시간이라는 관점으로 접근해야 할 것이다. 따라서 조형물과 결합될 시스템의 디자인 및 모터와 프로펠러의 위치선정과 자이로, 가속도, 지자계 센서를 융합하는 시스템 프로그램과 전체 시스템 스케줄링이 필요하다.

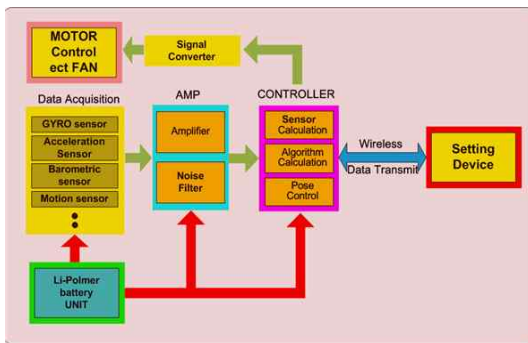
### 3.2 제어기 설계

본 연구에서는 시스템의 디자인을 처음으로 구성하였다. 제어기의 환경은 시스템을 총체적으로 조화롭게 제어할 수 있는 시스템으로의 역할이 중요시되

어 이에 맞도록 설계되어야 한다. 공중부양을 위한 조형물에 부착되어질 센서로는 여러 개의 자이로 및 가속도 센서와 지자계 센서가 있으며 구동은 BLDC 모터 이다. 공중부양 조형물과의 결합을 위하여 중요한 포인트 중 하나는 시스템 전체 무게이다. 무게 (500g 이하, 배터리 포함)로 전시용이므로 약 1시간 이상 부양되어야 하므로 배터리를 포함한 시스템 전체의 무게는 매우 중요하다. 본 연구에서는 7.4V-4A 리튬이온 배터리를(약 150g)사용하였으며 배터리를 제외한 시스템 전체무게는 약 340g으로 설계 하였다. <그림 1>은 전체 시스템의 CAD 구성도이며 <그림 2>는 제어시스템 구성도이다.



<그림 1> 가로 1100mm x 세로 660mm CAD 설계도면



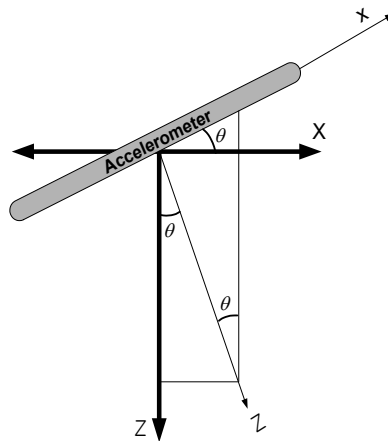
<그림 2> 제어 시스템 구성

시스템의 위치와 모터의 속도 제어는 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.

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

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

자세를 위한 센서는 자이로와 가속도센서를 사용하였으며 가속도는 3축 값(X축, Y축, Z축)과 자이로는 2축의 값을 출력한다. 가속도센서출력으로 각도를 계산하기위한 모델은 <그림 3>과 같다[45].



<그림 3> 가속도 센서모델

가속도센서가 기울어져 Roll 각을 형성하면 중력의 크기는 X축과 Y축으로 분산된다. 3축 가속도이므로 X, Y, G의 가속도 출력을 얻을 수 있다. <그림

3>에서 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.

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

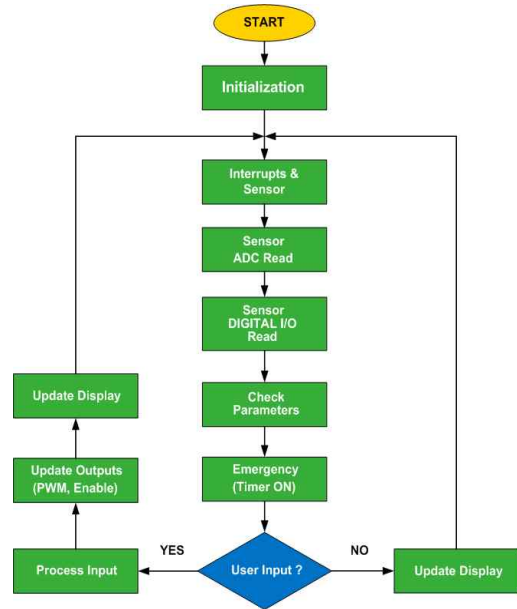
식 2와 같이 가속도센서는 회전체의 중심에 있다는 조건이어야 하며 중심에서 벗어나서 병진운동을 한다면 방향의 가속도성분이 같이 측정되므로 정확한 각도를 얻을 수 없다. 본 연구에서 사용된 가속도와 자이로센서는 식 3과 같이  $m/s^2$ 의 단위의 실험에 의한 가중치를 적용하므로 가속도를 구할 수 있다.

$$a = V * 0.105 [m/s^2] \quad (3)$$

자이로센서의 보정은 실험에 의한  $deg/s$  단위의 가속도를 식 4과 같이 보정하였다.

$$\dot{\theta} = V * 0.888 [deg/s] \quad (4)$$

<그림 4>는 DSP 마이크로프로세서의 프로그래밍을 위한 Flowchart를 나타내었다[6].



<그림 4> MCU Flowchart

### 3.3 시스템 구현

시스템 구현은 Setting 시스템과 제어시스템으로 구분하였다. Setting 시스템은 초기에 원하는 높이, 위치, 방향, 정지, 시간 등의 정보를 입력하여 주 제어기로 무선 WI-FI로 전송하기 위하여 설계되었다. Setting 시스템의 기능은 초기 자세인 Pitch, Roll, Yaw, 높이를 주 제어기에 전송하고 마지막으로 Start 신호를 전송하면 주 제어기는 실시간으로 시스템의 자세와 기타 상태를(배터리 용량 등) Setting 기기로 다시 전송하여 사용자가 알 수 있도록 구성하였다. <그림 5>는 제작된 Setting 시스템을 보여 주고 있다.



<그림 5> Setting System

주 제어기는 Setting 시스템으로부터 전송받은 정보를 기반으로 시스템 전체를 제어한다. 주 제어기의 Main 프로세서는 마이크로칩사의 dsPIC30F4013을 이용하였으며 모터를 제어하기 위한 프로세서는 dsPIC30F4012를 사용하였으며 구동은 BLDC모터를 사용하였다[7]. 방향전환을 위한 프로펠러는 6인치 좌·우 2개를 사용하였으며, 상하 높이 및 자세 제어를 위한 프로펠러는 8인 4개를 사용하였다. 실험을 위해 제작된 부력조형물의 크기는 1.5m x 3m 로 제작을 하였으며 부력 공기조형물과 제작된 시스템과의 연결을 위한 Bar를 제작하였다. 공중부양을 위한 공기조형물은 헬륨 게스를 이용하여 0 부력을 만든 상태로 제작되었다. <그림 6>은 구현된 Main System을 보여주고 있으며 <그림 7>은 테스트를 위해 제작된 0 부력을 가진 조형물을 보여주고 있다.



<그림 6> Main System

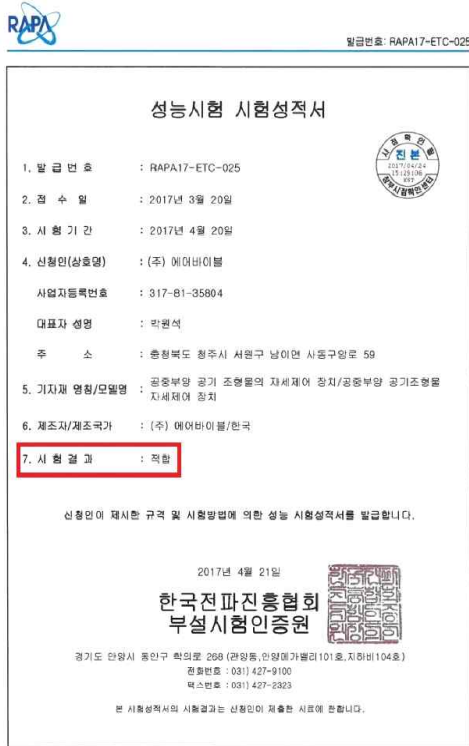


<그림 7> 제작된 0부력의 공기조형물

#### IV. 실험 및 분석

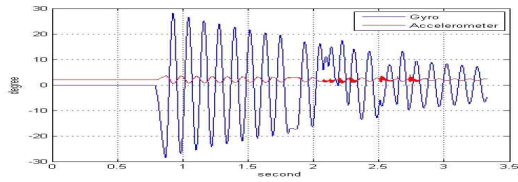
실험은 일차적으로 부력조형물의 성능 요구사항을 테스트 하였다. 성능평가는 공인인증기관인 한국전파진흥협회 부설 실험인증원에서 테스트하였다. 성능평가의 내용은 앞서 언급한 바와 같이 제어기 무게(500g 이하-배터리 포함)와 입출력 응답시간(90 msec), 소비전력(30W), 공급전압 범위(5V~7V)를 측

정하였다. <그림 8>은 공인인증기관에서 테스트한 성능시험 성적서를 보여주고 있으며 모두 적합한 결과를 얻었다.

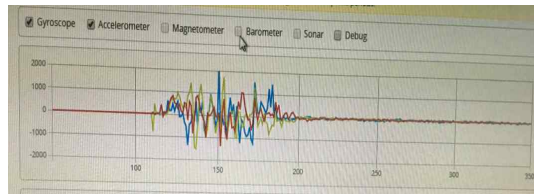


<그림 8> 공인인증기관의 시험 성적서

시스템에 자세 변화를 주었을 경우 원하는 위치로 수렴하는가를 측정하기 위한 시뮬레이션과 실제 측정값을 비교하였으며 모두 3 sec 안에 들어오는 결과를 얻었다. <그림 9>는 시스템에 임의의 변화를 주었을 경우 시뮬레이션 한 결과이며 <그림 10>은 실제 측정 결과를 보여주고 있다.



<그림 9> 자세변화에 대한 시뮬레이션



<그림 10> 자세변화에 대한 실제 측정

<그림 11>은 제작된 공중부양 조형물에 구현된 시스템을 아래 부분에 부착하여 테스트한 장면을 보여주고 있다.



<그림 11> 공중부양 조형물 테스트

## V. 결론

부력 공기조형물은 폭넓은 응용가능성 때문에 경제, 산업적 측면에서 무한한 잠재력을 지니고 있다. 무 고정 형태의 부력조형물이 공중에 떠 있는 상태에서 원하는 자세 유지가 가능한 시스템의 구현은 다른 응용 분야에 손쉽게 적용될 수 있는 가능성을 포함할 수 있다. 본 연구에서는 공중부양 조형물의 자세제어를 위한 드론 기술을 접목한 시스템을 구현하였다. <그림 1>과 같이 디자인에서부터 기존의 드론 방식에 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 게스를 이용한 0 부력이라는 조형물로 원하는 자세가 이루어지면 동력이 제거되므로 장시간 시스템 사용이 가능하다는 점에서 차별성을 가진다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 이용되는 PID 알고리즘을 적용하였으며 전체적으로 시스템의 요구조건을 크게 벗어나지 않음을 실험을 통하여 검증하였다.

## 참고문헌

- [1] 이충희, "드론 기술개발 최근 동향과 전망," 한국물리학회, 제65권, 제12호, 2015, pp. 1141-1158.
- [2] 박재훈, 김용정, "드론기술과 한국물류산업의 발전방향," 한국항공경영학회 추계학술발표 논문집, 2016.
- [3] Jang Myung Lee, "Dynamic Modeling and Cooperative Control of a Redundant Manipulator Based on Decomposition," International Journal of KSME, Vol. 12, No. 4, 1998, pp. 642-658.
- [4] 강진구, "ARS를 이용한 2바퀴 로봇의 자세 제어에 관한 연구," 디지털산업정보학회지, 제9권, 제1호, 2013, pp. 73-78.
- [5] 김재진, "구조를 고려한 CPLD 저전력 알고리즘," 디지털산업정보학회지, 제10권, 제1호, 2014, pp. 1-6.
- [6] Intel Lab mcs-96 8x9x Architectural Overview,
- [7] 마이크로칩 기술지원부, "마이크로칩 마이크로컨트롤러 응용 - 모터컨트롤," 마이크로칩사, 2006.

### ■ 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 : 2017년 08월 17일  
수정일 : 2017년 08월 29일  
게재확정일 : 2017년 08월 31일