구형무인비행체 개발

김진원*, 류동영**, 조동현***, 문성태***

Spherical Flying Machine Development

Jin-Won Kim*, Dong-Young Ryu**, Dong-Hyun Cho***, Sung-Tae Moon***

Abstract

Spherical Flying Machine, unlike conventional aircraft structure, is protected by circular frame. This battery-operated propeller machine, which can do vertical take-off and hovering, is under development for indoor and outdoor operation and dubbed as Flying Ball in KARI.

In the future, autonomous air vehicle will be constructed for reconnaissance and surveillance application.

초 록

구형비행체는 기존의 항공기와 달리 비행체가 원형 프레임으로 보호되는 구조로 되어있다. 항우연에서 개발중인 본 비행체(Flying Ball)는 수직이착륙 및 정지비행이 가능한 배터리로 구동되는 프로펠러를 장착하고 있으며 실내외에서 운용이 가능하도록 개발이 진행중이다. 최종적으로는 자율비행이 가능토록 하여 정찰용이나 감시용으로 활용할 수 있도록 할 예정이다.

키워드 : 구형비행체(Spherical Flying Machine), 플라잉볼(Flying Ball)

1. 서 론

최근 무인항공기가 보편화됨에 따라 다양한 모습의 비행체 개발이 이루어지고 있다. 일본방위청에서는 2011년 가을 구형비행체를 공개적으로 시현한 일이 있으며[그림 1], 이의 특허가 등록된 사례가 있다[1]. 이와 비슷한 시도가 2000년대에 이미 한국이 앞서서 유사 연구 사례를 하였으나, 단순 연구[2]로 끝나거나 동축반전형 로터 형식의 취미용으로 개발한 사례[3]가 있었다.

그림 1. 일본 방위청이 개발한 구형비행체

접수일(2012년 9월 12일), 수정일(1차 : 2012년 10월 18일, 2차 : 2012년 10월 25일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)
* 한국항공우주연구원, 재료구조연구팀/jintting@kari.re.kr ** 한국항공우주연구원, 달탐사기반연구팀
*** 한국항공우주연구원, 융합기술연구팀

그림 2. 국내 연구[2] 및 개발사례[3]

더욱이 중국업체가 [3]의 동영상을 참고하여 2012년 초에 상업용으로 구형비행체를 출시하였으며, 특허등록의 중요성을 일깨워 준 사례가 되고 있다.

그림 3. 중국산 완구용 구형비행체

2012년 초에는 서울대에서 개발한 구형비행체를 비교적 성공적으로 개발한 사례가 있다[4].

그림 4. 서울대 구형비행체

한국항공우주연구원에서도 2012년부터 구형비행체 연구를 시작하였으며, 개발완료 후 다음의 목적으로 사용할 수 있을 것으로 예상한다.

- ○ 테러진압용, 정찰용, 군사용으로 정찰
- ○ 재해현장에서 정보 수집용
- ○ 이동감시 시스템 구축용
- ○ 레저용, 교육용으로 판매

항공우주연구원에서 개발중인 비행체는 유사비행체에 비하여 유상하중을 추가할 수 있는 공간과 여유추력이 있으며, 일부 파손시 신속히 복구를 할 수 있는 장점이 있다. 본 비행체의 개발을 위한 설계요구도는 10분이상 비행으로 설정을 하였으며, 실제 비행에서도 문제없이 비행을 하였다.

특히, 충돌이나 추락에 대비한 내충격 비행체 특성과 수직이착륙성은 활용가치가 있어 보인다. 또한, 타 정찰 시스템에 비하여 상당히 저가 제작이 가능하므로, 비행체 손실에 대한 염려가 상대적으로 적다고 할 수 있다. 또한, 레저용이나 항공기 제작 등의 교육용으로도 수요가 예상된다.

2. 본 론

2.1 구형비행체 구성

그림 5는 한국항공우주연구원 구형비행체(이하, 플라잉볼)의 기본 형상을 나타낸다.

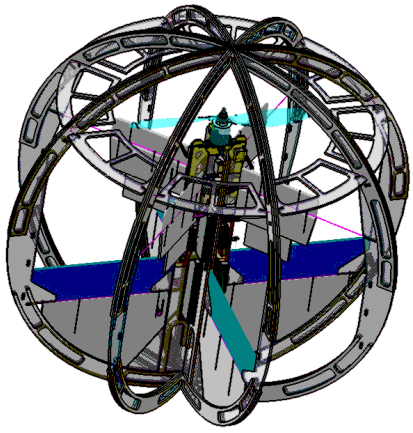

그림 5. 한국항공우주연구원 플라잉볼 기본형상

플라잉볼은 600mm 지름의 8개의 원형 프레임으로 외곽 구조물을 구성하였으며, 이는 내부의 프로펠러를 보호하는 역할을 한다.

외곽 구조물의 재료는 국내에 거의 소개되지 않은 고급 소재인 데프롬(Depron)을 사용하였다. 외관상으로는 우드락과 비슷하나 상대적으로 표면이 딱딱하고 밀도가 훨씬 낮은 소재여서 고급 초경량 재료로 알려져 있다.

자세제어를 위한 조종면은 위의 4개와 아래 4개로 구성되었으며 위의 4개의 조종면은 순전히 요방향 제어만을 담당한다.

아래의 조종면 4개는 일반적인 테일시터기(Tail-sitter 기)의 경우와 같이 롤 및 피치제어를 담당하며 요제어도 일부 믹싱하여 사용하고 있다.

또한, 프로펠러 회전면이 회전하면 자동으로 단면적을 좁게하여 프로펠러 끝단의 유도항력을 줄여 추력을 증가시키기 위한 장치를 고안하여 장착하기도 하였다.

그림 6은 플라잉볼의 중량 CG를 보여주고 있으며 거의 기학적 중심에 위치하고 있다. 비행시의 중량은 약 570g이다.

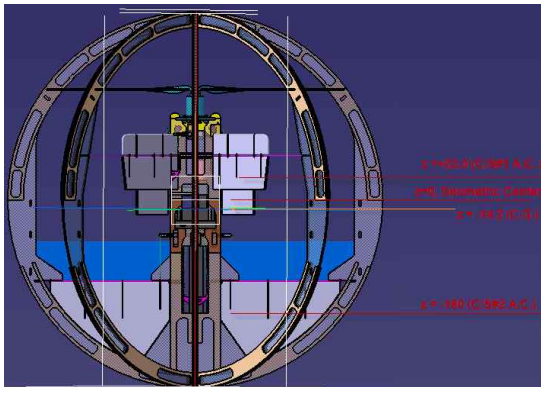

그림 6. 플라잉볼 질량, CG

플라잉볼은 전기모터, 변속기, 수신기, 서보로 구성된 RC 항공기의 부품을 그대로 사용하여 개발하였다.

플라잉볼의 비행제어를 위하여 ArduPilot Mega 2.5 제품과 MicroStrain사의 Attitude Heading Reference System(AHRS)을 사용하였으며, 비행데이터를 수집하기 위하여 Xbee를 장착하였다.

2.2 기초 비행시험 데이터

그림 7은 전동모터(AVI2217)와 프로펠러(APC 11x4.7)를 결합한 추력시험 장치이며, rpm, 추력, 토크, 소요전력을 동시에 측정할 수 있다.

그림 7. 모터/프로펠러 추력시험 장치

그림 8~11은 모터의 시험 결과이며 x축은 수신기의 pulse이며 단위는 밀리초이다. 모터는 송신기의 디지털 pulse 신호에 따라 작동한다.

그림 8에서 모터의 최대 추력은 약 1,000g 정도이며 중량 570g의 비행체를 운용하기에 충분하다.

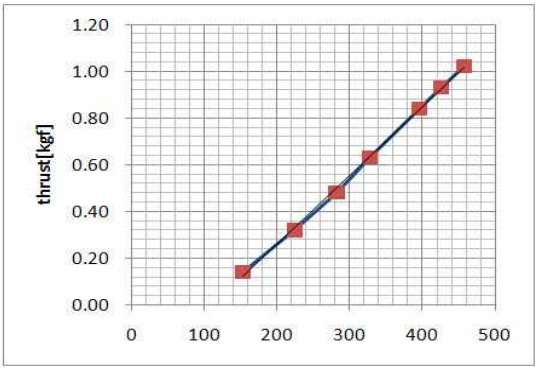

그림 8. 모터/프로펠러 추력측정 결과

그림 9는 모터의 토크를 측정하였으며 최대 2.25kgf·cm 측정되었다.

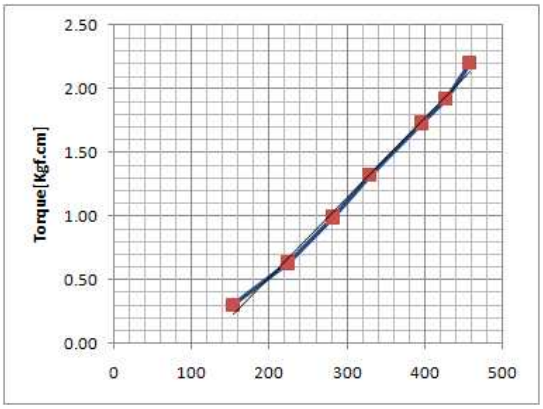

그림 9. 모터/프로펠러 토크측정 결과

그림 10에서 모터의 rpm은 최대 7,000정도가 측정되었다.

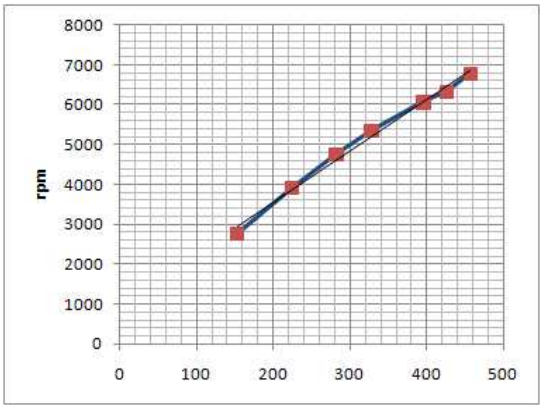

그림 10. 모터/프로펠러 rpm 측정 결과

그림 11에서 모터의 소요전력은 최대 240W가 측정되었다.

2.3 구조진동 해석

플라잉볼 구조재에 사용된 데프론 소재는 업체 Data Sheet에 따르면 밀도가 33kg/m^3, 압축강도는 100kPa 이나 다른 물성치는 알려지지 않

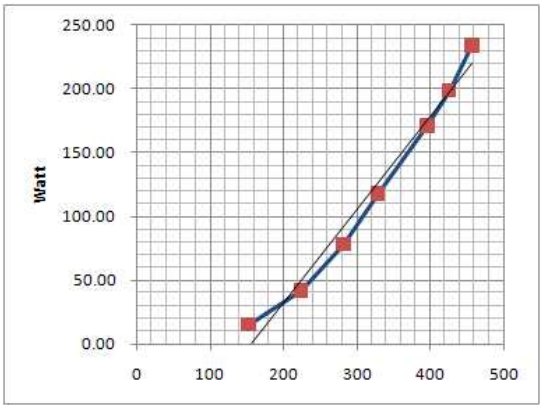

그림 11. 모터/프로펠러 Watt 측정 결과

았다. 따라서, 유사 폼 재료의 물성치를 사용하여 NASTRAN/PATRAN으로 구조진동 해석을 수행하였다.

폼소재의 비선형성 특성을 무시하였으며, 본 연구에서는 비행중 센서신호를 처리하기 위하여 필터처리가 필요함에 따라, 대략적인 공진 특성을 알기위하여 구조해석을 실시하였다[그림 12, 13].

진동해석에서는 대략 1차 진동모드 17.3Hz와 2차 진동모드 19Hz가 계산되었다.[그림 14 & 15]

그림 12. 플라잉볼 제작 형상

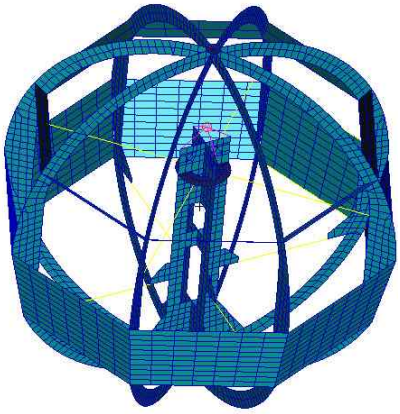

그림 13. 플라잉볼 유한요소 모델

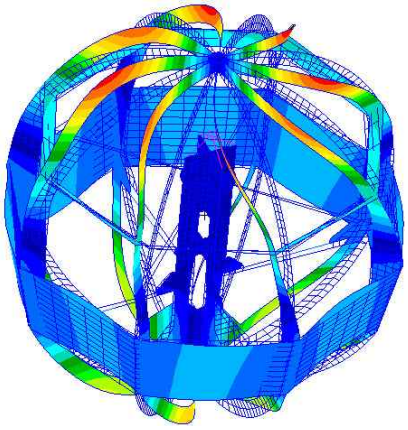

그림 14. 1차 진동모드17.3Hz

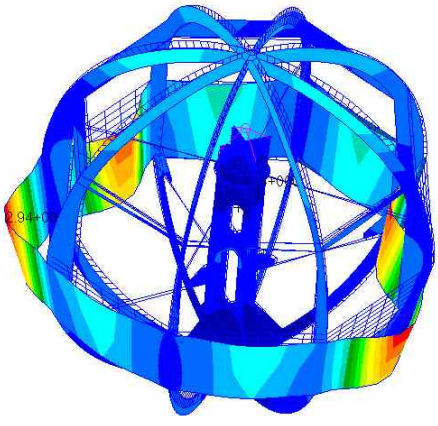

그림 15. 2차 진동모드19.0Hz

2.4 제어 시스템

구형비행체의 운동방정식으로는 유사한 형태의 운동체인 덕티드 팬(Ducted Fan)의 운동방정식을 이용할 수 있다.

$$\dot{\boldsymbol{p}} = \boldsymbol{v} \tag{1}$$

$$\dot{\boldsymbol{v}} = \frac{\boldsymbol{F}}{m} \tag{2}$$

$$\dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathrm{I}^{-1}(\boldsymbol{M} - \boldsymbol{\omega} \times \mathrm{I}\boldsymbol{\omega}) \tag{3}$$

여기서, $\boldsymbol{p}, \boldsymbol{v}, \boldsymbol{\omega}$는 각각 위치 및 속도 벡터, 각속도 벡터를 의미하며, m과 I는 구형비행체의 질량과 관성모멘트를 나타낸다. $\boldsymbol{F}$와 $\boldsymbol{M}$은 각각 외력과 모멘트(Moment) 벡터를 의미한다.

자세제어를 위해 다음과 같은 PD 제어기를 구성하여 적용하였다.

$$\boldsymbol{M} = K_p \mathrm{I} A^{T}(\boldsymbol{\theta}_{com} - \boldsymbol{\theta}) - K_d \mathrm{I}\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\omega} \times \mathrm{I}\boldsymbol{\omega} - \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{H}_r \tag{4}$$

여기서, K_p와 K_d는 PD 제어기의 제어이득(Gain)을 의미하며, $\boldsymbol{\theta}$는 오일러 각(Euler angle), $\boldsymbol{H}_r$은 로터(rotor)의 각운동량을 의미한다. 오일러 각의 변화량과 각속도사이의 변환 행렬 A는 3-2-1 변환에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi\sec\theta & \cos\phi\sec\theta \end{bmatrix} \tag{5}$$

2.5 지상국 시스템

플라잉볼 Ground Monitor S/W는 비행체의 비행데이터를 지상에서 수신하거나, 명령을 내려주는 기능을 수행한다.[그림 16]

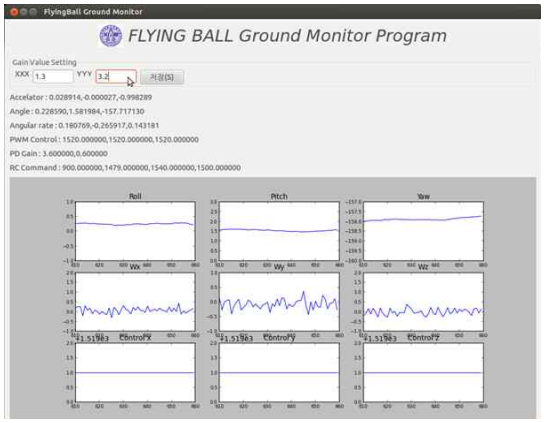

그림 16. 플라잉볼 Ground Monitor S/W

데이터 송수신은 ZigBee 무선 통신을 사용하였으며, Python으로 개발되어 Window/Linux/Mac 등 운영체제와 관련 없이 동작 가능하다. 효율적인 모니터링을 위해 특정 데이터에 대해 그래프로 표시하도록 하였으며, 시험 시 프로그램 제로딩없이 특정 값을 변경가능하다. 뿐만 아니라 구형 비행체 상태를 파일로 기록하는 기능도 포함하였다.

3. 결론 및 향후계획

본 논문은 플라잉볼을 개발하는 과정과 연구결과를 소개하였다. 구형비행체는 일종의 수직이착륙기로 볼 수 있으며, 안전측면에서 실내에서 운용하기에 적절한 비행체로 판단한다.

2012년 9월 호버링 비행시험을 성공적으로 수행하였으며, Gain 값 조종과 안정화 알고리즘 최적화 연구를 추가로 진행 중이다.

본 비행체는 최종적으로 실내외에서 자율비행을 목표로 하고 있으며, 원활한 실내비행을 위하여는 좀 더 축소하여 제작할 필요성이 있으며, 이를 위하여 FCC 보드를 소형화할 필요가 있다.

또한, 항공기는 경량화가 성능과 직결되는 주요 인자이므로, 향후 복합소재를 추가 적용하여 구조물 강성과 비추력을 향상시키도록 할 예정이다.

본 연구를 통하여 습득한 센서 신호의 필터링 기술과 비행제어명령과 비행데이터를 무선으로 송수신하는 기술은 차기 사업에서 그대로 활용하게 되는 성과도 거두었다.

후 기

본 연구는 한국항공우주연구원의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 일본 특허청 공보, 특허제4899069호, “구형비행기”, (2012.3.21)
2. 김규범 외, 건국대, “Design, Fabrication, and Performance Test of a Rotary-Wing Micro Aerial Vehicle”, Journal of Aircraft, Vol. 43, No. 2, March - April, 2006
3. blog.daum.net/josdklus/16529242
4. www.youtube.com/watch?v=Sfr1FtvtpSk
5. 홍상휘, 충남대, “Ducted-Fan 초소형무인항공기의 동특성 분석에 관한 연구”, 2011