

Original Article

초소형 쿼드로터 개발을 위한 기체형상 설계변경

박대진*, 이상철**, 박생진***, 송태훈****

Design Modification of Airframe Shape for Ultra Light Quad-Rotor Development

Dae-Jin Park*, Sangchul Lee**, Saeng-Jin Park***, Tae-Hun Song****

ABSTRACT

An ultra light quad-rotor is utilized in various areas for military and commercial purpose. Especially, the airframe shape is designed with various airframe size, weight and purpose. In this paper, the initial airframe shape of the quad-rotor was designed and manufactured. Flight test was conducted for the quad-rotor. The design modification of airframe shape was conducted to meet design requirement. By changing design, weight of airframe structure was reduced and payloads were placed to the best position. By reinforcing ribs and reducing vehicle's legs, the durability of airframe structure was enhanced.

Key Words : Ultra Light Quad-Rotor(초소형 쿼드로터), Airframe Structure(기체구조물), Design Modification(설계변경), Weight Reduction(경량화)

I. 서 론

무인항공기인 쿼드로터는 수직 이·착륙이 가능하여 군사목적과 상업목적으로도 여러 분야에서 활용되고 있으며, 쿼드로터 기체형상도 용도와 목적에 맞게 다양하게 설계되고 있다.[1] 전 세계 상업용 쿼드로터 시장은 중국 DJI의 Phantom시리즈, 프랑스 Parrot의 Bebop2, 미국 3D Robotics의 SOLO 쿼드로터가 점유하고 있다.[2] 이 쿼드로터들은 항공촬영용 카

메라를 장착하도록 설계되었다. 군사 목적으로 활용되고 있는 노르웨이 Prox Dynamics의 Black Hornet, 한국 유콘시스템의 리모콥터-004 등의 쿼드로터들은 감시·정찰용 전자광학/적외선(EO/IR, Electric Optical/Infra Red) 카메라를 기체전방에 위치하도록 설계되었다.

초기 기체형상 설계는 요구조건의 만족여부에 따라 설계변경이 요구된다. 변형섭 외 5명은 무인항공기의 성능개선을 위한 구조설계 변경에 관한 연구를 수행하였다.[3] 또한 조일륜은 소형 항공기의 주익을 개발과정에서 복합재료 사례 분석을 통한 개선 방향 연구를 수행한 바 있다.[4]

본 논문은 쿼드로터 기체형상 초기 설계를 수행했던 이전 논문[5]을 수정·보완하여 기체형상 설계변경에 관한 내용을 다룬다. 미 충족 설계요구조건을 충족시키고, 기체구조물의 내구성 강화를 위하여 설계변경을 수행하였다.

Received : 30. Nov. 2017. Revised : 13. Dec. 2017.

Accepted : 28. Dec. 2017

* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

*** 인터캠

**** (주) 휴인스

연락처, E-mail : slee@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 국내·외에서 개발되고 있는 쿼드로터 기체형상에 대한 경향을 조사하였다. 조사된 기체형상 자료를 통해 기체를 벤치마킹 후, 설계요구조건 충족을 위한 기체를 설계하였다. 쿼드로터 제작 후 비행시험을 수행하며 기체구조물 설계변경을 도출하였다. 설계변경은 페이로드 위치 변경, 기체 프레임 형상 및 두께변경, 기체 Leg 폭 및 살 두께 변경, 리브 보강, 에어벤트 홀 형상 변경, 기체구조물 Parts의 재질 변경이다. 설계변경을 통해 기체구조물의 내구성 강화와 경량화 설계요구조건을 만족하는지 기술하고 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 국내·외 쿼드로터 기체형상 조사

국내·외에서 개발되고 있는 쿼드로터 기체형상에 대한 경향을 조사하였다. 국외 쿼드로터 기체형상에 대해 세계 쿼드로터 시장 대부분을 점유하고 있는 중국, 프랑스, 미국의 쿼드로터를 조사하였다. 뿐만 아니라 스위스, 독일, 캐나다 기업에서 개발하여 상용되고 있는 쿼드로터 기체형상도 조사하였다. Figure 1은 해외 국가에서 개발한 쿼드로터를 보여 주고 있다.

Figure 1의 (a)~(c)는 중국 기업에서 출시하고 있는 쿼드로터들이다. 세계 쿼드로터 시장 점유율 1위를 차지하고 있는 DJI의 Spark, Mavic, Phantom4 Pro 쿼드로터들이 있다. DJI의 Phantom 시리즈는 기체하단에 영상카메라를 장착하기 때문에 기체 다리가 길게 설계되었다. 각 쿼드로터의 자세한 스펙사항은 Table 1과 같다. Figure 1의 (d)~(f)는 유럽 프랑스 Parrot에서 출시하고 있는 쿼드로터로 Table 2와 같은 사양을 가진다. 레이싱용 쿼드로터는 무게가 적게는 63g 정도이고, 항공촬영용으로 사용되는 쿼드로터는 500g 정도로 제작되었다. Figure 1의 (g)~(i)까지는 미국 기업에서 출시하고 있는 쿼드로터로 각각의 사양은 Table 3과 같다. 북미지역에서 쿼드로터시장을 장악하고 있는 3DR(3D Robotics)의 SOLO 쿼드로터는 하단에 고프로(GoPro) 카메라를 장착할 수 있도록 기체 다리가 길게 제작되었다. Figure 1의 (j)~(k)까지

는 스위스, 독일, 캐나다에서 개발된 쿼드로터들이며, 각각의 사양은 Table 4와 같다.

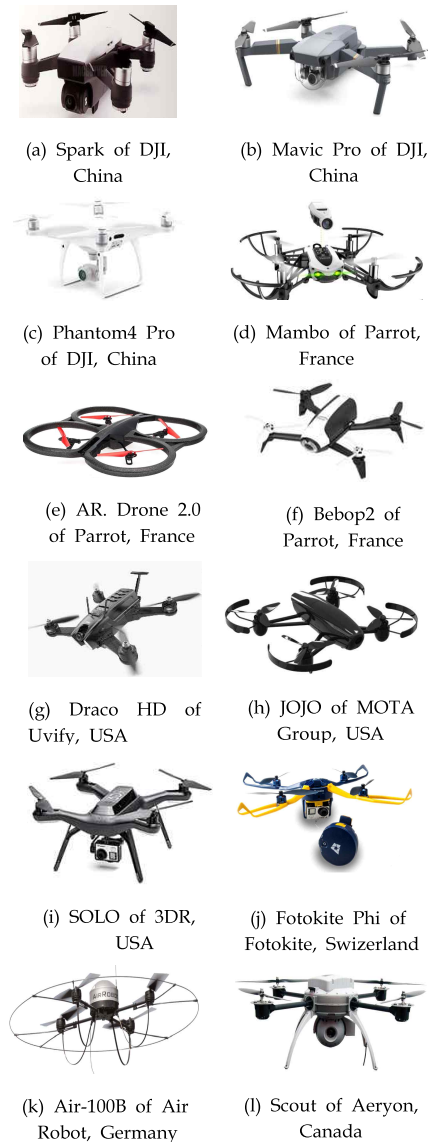


Fig 29. Quad-Rotor of Foreign Country's Company

Figure 1의 (j)는 스위스 Fotokite에서 개발한 Fotokite Phi 쿼드로터이다. 연을 연상시켜 만든 이 쿼드로터는 줄의 장력 및 손동작을 이용하여 거리를 제어한다. 기체다리는 없으며, 고프로 카메라 장착이 가능하다. Figure 1의 (k)는 독일 AirRobot의

AR-100B 쿼드로터이다. 감시·정찰용으로 하단에 적외선 카메라를 장착하고 있지만 기체 다리는 없다. Figure 1의 (1)은 캐나다 Aeryon Labs Inc.에서 제작된 Scout 쿼드로터이다. 또 다른 SkyRanger 쿼드로터형상과 비슷하지만, 모터의 상·하 위치, 장착 페이로드, 비행시간, 무게, 크기가 다를 수 있었다.

Figure 2의 (a)~(c)까지는 국내 기업에서 출시되고 있는 쿼드로터들이다. 각각의 사양은 Table 5와 같다. Figure 2의 (a)와 같이 XDRONE에서 개발한 XD-MAV 쿼드로터는 기체형상이 직육면체로 설계되었다. Figure 2의 (b) LOBIT 300GT는 레이싱용으로 사용된다. Figure 2의 (c)는 UCON SYSTEM에서 개발된 Remocopter-004 쿼드로터로서 정찰, 소방 등 다목적 촬영이 가능하고, 카메라는 전방에 위치하고 있다.

Table 21. Quad-Rotor Spec of Chinese Company

| 기업 / 제품명 | DJI /Spark | DJI /Mavic Pro | DJI /Phantom4 Pro |
|-------------|---------------|----------------|-------------------|
| 용도 | 항공촬영 | 항공촬영 | 항공촬영 |
| 무게(g) | 300 | 743 | 1388 |
| 크기(cm) | 14.3x14.3x5.5 | 19.8x8.3x8.3 | 55x55x40 |
| 배터리용량 (mAh) | 1480 | 3830 | 5870 |
| 비행시간 (분) | 16 | 27 | 30 |
| 페이로드 | 영상 카메라 | 영상카메라 | 영상카메라 |

Table 22. Quad-Rotor Spec of French Company

| 기업 / 제품명 | Parrot /Mambo | Parrot /AR Drone 2.0 | Parrot /Bebop2 |
|-------------|------------------|----------------------|----------------|
| 용도 | 레이싱 | 항공촬영 | 항공촬영 |
| 무게(g) | 63 | 420 | 499 |
| 크기(cm) | 18x18 | 52x52x11 | 33x38x9 |
| 배터리용량 (mAh) | 660 | 1500 | 2700 |
| 비행시간 (분) | 8 | 12 | 25 |
| 페이로드 | HD 720 30FPS 카메라 | HD 720p30 FPS 카메라 | 영상카메라 |

Table 23. Quad-Rotor Spec of American Company

| 기업 / 제품명 | Uvify /Draco HD | MOTA Group /JOJO | 3DR /SOLO |
|-------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| 용도 | 레이싱 | 항공촬영 | 항공촬영 |
| 무게(g) | 485 | 500 | 1500 |
| 크기(cm) | - | 22.9x22.2x8.5 | 45x54x29 |
| 배터리용량 (mAh) | 1800 | - | 5200 |
| 비행시간 (분) | - | 15 | 25 |
| 페이로드 | 720p30 HD 카메라 | 14MP 카메라 Optic Sensor | 고프로4 카메라 |

Table 24. Quad-Rotor Spec of Another Foreign Company

| 국가 / 기업 / 제품명 | Swizerland /Fotokite /Fotokite Phi | Germany /AirRobot /AR-100B | Canada /Aeryon Labs Inc. /Scout |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------|--|
| 용도 | 촬영용 끈제어 쿼드로터 | 감시·정찰 | 감시·정찰 |
| 무게(g) | 350 | 907 | 1400 |
| 크기(cm) | 35.5x36.5x10 | 101.6 | 80x80x20 |
| 배터리용량 (mAh) | - | 2.05A /14.2V | LiPo Battery |
| 비행시간 (분) | 13 | 20 | 25 |
| 페이로드 | 고프로 카메라 | 1.Infrared 카메라 2.Video 카메라 | 1.Thermal FLIR Infrared 2.고해상도 카메라 3.NIR 카메라 |

Table 25. Quad-Rotor Spec of South Korean Company

| 기업 / 제품명 | XDRONE /XD-MAV | DRO GEN /LOBIT 300GT | UCON SYSTEM /Remocopter-004 |
|-------------|----------------|----------------------|-----------------------------|
| 용도 | 감시·정찰 | 레이싱 | 다목적촬영 (정찰, 소방) |
| 무게(g) | 290 | 670 | 4500 |
| 크기(cm) | 22x9.9x2.9 | 26.8x26x10 | 50x50x15 |
| 배터리용량 (mAh) | - | 2200 | - |
| 비행시간 (분) | 30 | - | 60 |
| 페이로드 | - | 1/3"COMS 700TVL 카메라 | 초분광센서 |

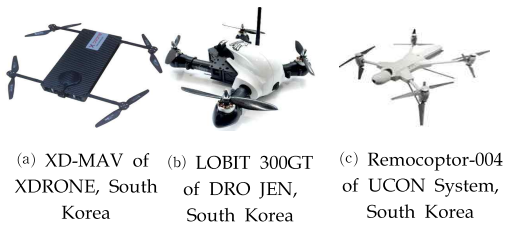


Fig 30. Quad-Rotor of Domestic Company

2. 설계요구에 따른 기체형상 설계

국내·외 쿼드콥터 기체형상 조사에서 카메라를 장착한 경우 기체구조물 하단에 위치시키거나 기체구조물 내부에 위치시켜 설계되었다.

쿼드콥터의 설계요구조건인 크기가 30cm×30cm×15cm 이하 이고, 페이로드를 포함한 무게가 450g 이하 초소형 멀티콥터 기체 구조물을 설계하였다. 설계요구조건에 유사성을 가진 프랑스 Parrot의 Bebop2 쿼드콥터를 벤치마킹용으로 선정하였다. Table 6은 Bebop2의 사양과 개발하려는 쿼드콥터의 사양을 비교한 것이다.

Table 26. Comparison with Specification of Bebop2 and Development Specification

| | Parrot/Bebop2 Specification | Development Specification |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|
| 용도 | 항공촬영 | 감시정찰용 |
| 무게(g) | 499 | 450 |
| 크기(cm) | 33×38×9 | 30×30×15 |
| 배터리 용량(mAh) | 2700 | 1200 |
| 비행시간(분) | 25 | 12 |
| 페이로드 | 영상카메라 | EO/IR 카메라 |

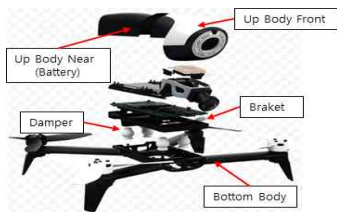


Fig 31. Parts of Bebop2

Figure 3은 프랑스 Parrot의 Bebop2 쿼드콥터의 Parts를 나타낸다. Parts는 Up Body Front, Bottom Body, 카메라, 브라켓과 댐퍼, 배터리 등으로 구성되어 있다. 위와 같은 구조로 기체형상 Parts를 3D 설계 하였으며, 이는 Fig. 4와 같다. Figure 5는 초기 설계된 쿼드콥터 기체 2D 도면이다.[5]

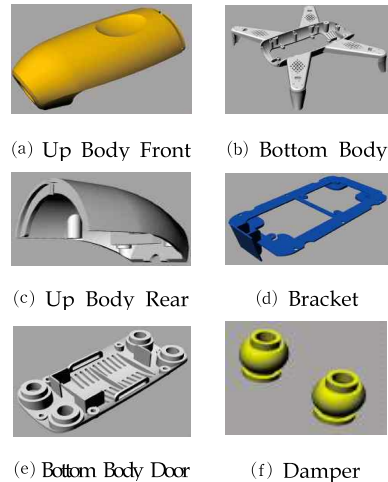


Fig 32. Parts of Initial Design

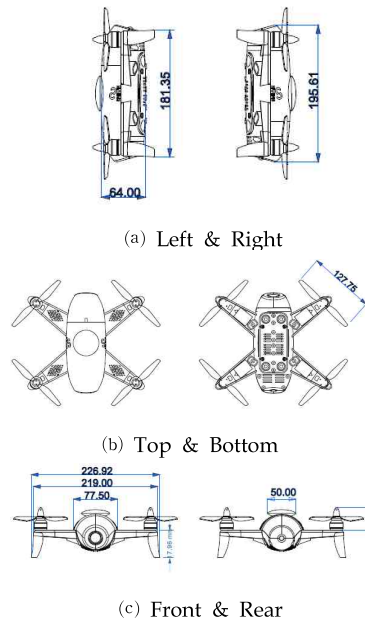


Fig 33. Initial 2D Design Drawing

3. 기체형상 설계변경 및 개선점

초기설계에 따라 제작된 기체로 비행시험을 수행하였다. 시험 중 기체하단에 위치한 배터리 탈·부착의 어려움, 기체형상 무게 감소 필요 등의 문제를 해결하기 위해서 기체구조물 설계변경을 수행하였다.

Figure 6의 (a)~(e)는 초기설계 형상에서 변경 및 추가된 Parts를 보여준다. Table 7은 설계변경 전·후의 재질을 보여주며, Up Body Front의 재질을 압축 스티로폼(Compress Styrofoam)에서 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)로 변경함으로써 무게를 감소시켰다.

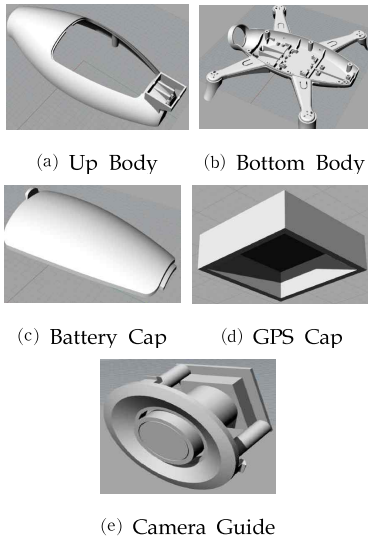


Fig 34. Parts of Design Change

Table 27. Materials of Change Parts

| No. | Before Change | | After Change | |
|-----|------------------|--------------------|--------------|----------|
| | Part Name | Material | Part Name | Material |
| (a) | Up Body Front | Compress Styrofoam | Up Body | ABS |
| (b) | Bottom Body | ABS | Bottom Body | ABS |
| (c) | Up Body Rear | ABS | Battery Cap | ABS |
| (d) | Bracket | ABS | GPS Cap | ABS |
| (e) | Bottom Body Door | ABS | Camera Guide | ABS |
| (f) | Damper | Silicone | - | - |

3.1 배터리 및 GPS 위치 변경

Figure 7 (a)의 왼쪽과 같이 배터리 위치는 기체구조물 하부에 위치되어 있었다. 기체설계 변경 후 배터리 위치를 기체하단에서 상단으로 위치를 변경하였다. 그 결과로 Fig. 7 (b)와 같이 중간 브라켓과 댐퍼가 제거될 수 있어 무게를 감소시키는 효과를 가져왔다.

Figure 7 (c)와 같이 GPS 위치는 설계변경 전 기체구조물 상단 중앙에 위치되었지만, 설계변경 후 기체구조물 상단 후방으로 변경하였다.

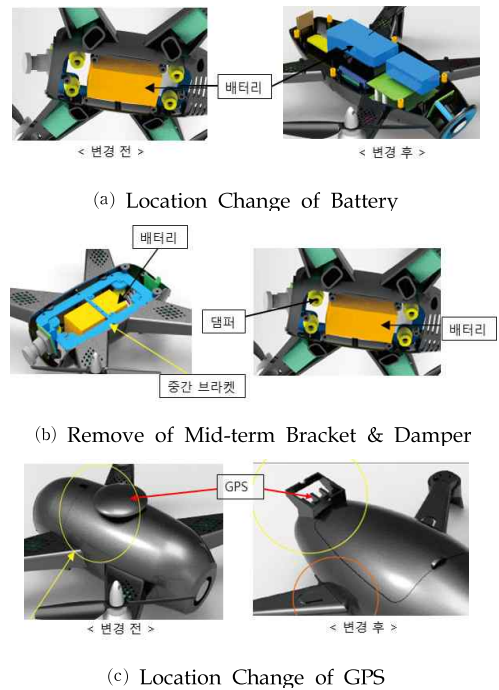


Fig 35. Location Change of Battery & GPS

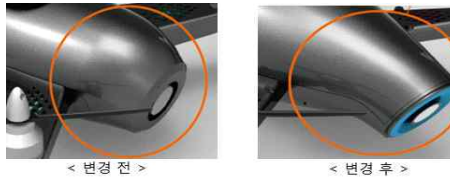
Figure 8의 왼쪽과 같이 설계변경 전 배터리 위치가 기체구조물 하부에 위치되어 배터리 도어를 나사로 고정하는 방식으로 사용하였다. 그 결과 배터리 교체 시 배터리 도어를 나사로 체결하고 분리하는 작업이 반복되어지는 어려움이 발생되었다. 기체설계변경을 통해 배터리를 상단으로 위치 변경하고 Fig. 8의 오른쪽과 같이 상단에 배터리 캡을 후크로 고정시켜 배터리 교체를 용이하게 하였다.



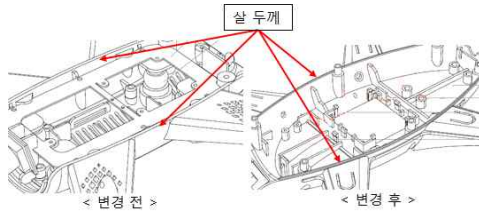
Fig 36. Battery Door fix & Battery Cap

3.2 기체 프레임 형상 및 두께 변경

Figure 9 (a)와 같이 기체 프레임의 전방 형상을 긴 나선형으로 변경하여 기체 내부의 불필요한 공간을 줄였다. Figure 9 (b)와 같이 기체 프레임의 살 두께를 줄여 무게 감소 효과를 가져왔다.



(a) Shape Change of Top & Bottom Frame

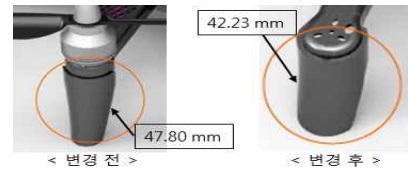


(b) Thickness Change of Airframe

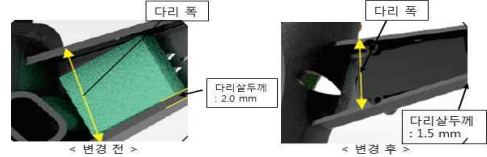
Fig 37. Shape & Thickness of Top & Bottom frame

3.3 기체 하단프레임 Leg 변경

Figure 10 (a)의 왼쪽과 같이 설계변경 전 기체 하단 프레임 Leg의 길이는 47.80mm 였다. 비행시험 수행 중 쿼드로터가 불안정한 상태로 착륙하는 것을 관찰하였다. Figure 10 (a)의 오른쪽과 같이 Leg 길이를 42.23mm로 축소하고, Leg 둘레를 넓혀 착륙 시 안정성을 향상시키고 내구성을 강화시켰다. Figure 10 (b)와 같이 Leg의 폭, 두께를 줄여 무게 감소 효과도 있었다.



(a) Length Reduction of Bottom Frame's Leg

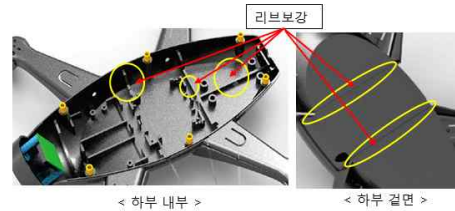


(b) Width & Thickness Reduction of Bottom Frame's Leg

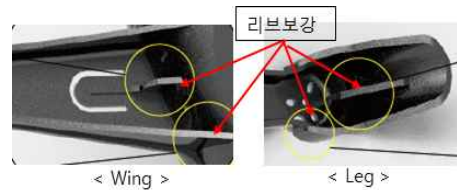
Fig 38. Thickness Change of Bottom Frame

3.4 리브 보강

Figure 11 (a)와 같이 기체구조물 하부의 내면과 겉면에 리브를 보강하였다. Figure 11 (b)와 같이 Wing, Leg 부분에 리브를 보강하여 내구성을 강화시켰다.



(a) Rib Reinforcing of Bottom Frame's Internal & Surface



(b) Rib Reinforcing of Wing & Leg

Fig 39. Rib reinforcing

3.5 에어벤트 홀 형상 변경

Figure 12와 같이 에어벤트 홀 형상을 단순화

하기 위하여 다이아몬드 꼴에서 U자형 꼴 형태로 변경하였다.

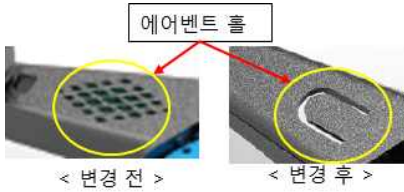


Fig 40. Shape Change of Air Vent Holes

4. 설계 변경된 기체형상

Figure 13는 설계변경이 이루어진 설계 변경된 2D 설계도면이다. Figure 14 (a)는 초기 설계된 쿼드로터 기체형상이며, (b)는 설계변경 후 제작된 쿼드로터 기체형상이다. Table 8과 같이 초기 설계한 기체형상과 비교하였을 때 설계 변경된 기체형상의 크기는 축소되었으며, 무게는 경량화되었다.

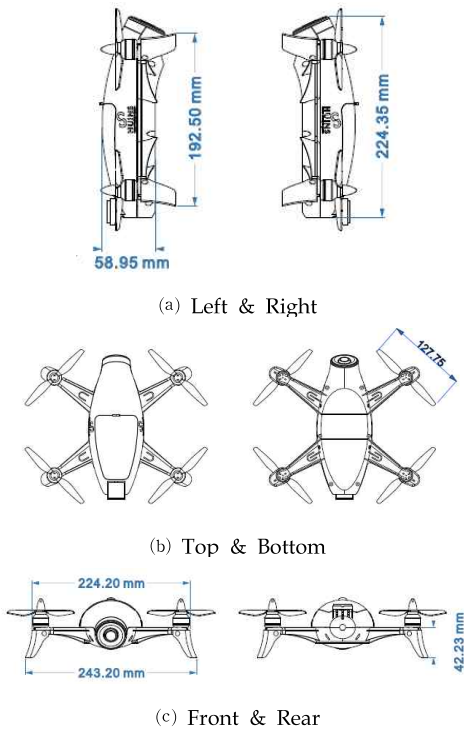


Fig 41. Design Changed 2D Design Drawing



(a) Initial Design (b) After Design Change
Fig 14. Before Change & After Change of Airframe Shape

Table 28. Comparison with Size and Weight of Before & After Design Change for Airframe Shape

| | Initial Design | After Design Change |
|-------------|-----------------|---------------------|
| 기체프레임 무게(g) | 176 | 136 |
| 크기(cm) | 24.77×24.77×6.4 | 22.7×18.2×6.4 |

III. 결 론

본 논문에서는 국내·외 쿼드로터 기체형상을 조사하고 설계요구조건을 충족시키기 위한 기체 구조물을 설계하였다. 쿼드로터 제작 후 비행시험을 수행하여 기체구조물 설계 변경사항을 도출하였다. 설계변경 사항은 페이로드 위치 변경, 기체 프레임 형상 및 두께변경, 기체 Leg 폭 및 살 두께 변경, 리브보강, 에어벤트 홀 형상 변경, 기체구조물 Parts의 재질 변경이다. 설계변경을 통해 기체구조물은 크기가 축소되었고, 내구성이 강화되었다. 초기 설계 기체무게를 경량화 하여 페이로드 포함 450g인 초소형 쿼드로터의 무게 관련 설계요구조건을 만족시킬 수 있었다. 설계 변경된 기체형상은 최종형상이 아니며, 지속적인 설계변경사항이 도출될 경우 추가적인 설계변경이 이루어질 예정이다.

후 기

본 논문은 방위사업청, 산업통상자원부의 “EO/IR 탑재 감시정찰용 450g급 초소형 멀티콥터 개발” 과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

본 논문은 한국항공운항학회 2017년도 추계학술대회에 발표한 논문을 재구성하였음.

Reference

- [1] Kim, J., Ryu, D., Cho, D., Moon, S., "Spherical Flying Machine Control Study", The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, 2012 KSAS Fall Conference, Nov. 2012, pp. 1949-1954
- [2] Yang, H., "Status of Industrial Rndon for Private Use and Technology Trends", Korea Multimedia Society, Vol. 20, No. 1-2, Jun. 2016, pp. 1-5
- [3] Byun, Y., Lee, J., Lee, K., Gu, T., Song, W., Kang, B., "Re-design of the Coaxial UAV's Platform for an Improvement in Performance", The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, 2007 KSAS Fall Conference, Nov. 2007, pp. 221-224.
- [4] Cho, I., "A Case Study for Improving the Manufacturing Process of Composite Main Wing for Small Aircraft", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 23, No. 1, Mar. 31. 2015, pp. 96-102
- [5] Park, D., Lee, S., Park, S., Song, T., "Airframe Structure Design to comply with Design Requirement of Ultra Light Quad-Rotor", The Korean Society for Aviation and Aeronautics, 2017 KSAA Fall Conference, Nov. 24. 2017, pp. 17-19