

## 복합소재 성형공법을 이용한 저소음 프로펠러 형상 설계에 관한 연구

오웅진<sup>1</sup>, 임진택<sup>2\*</sup><sup>1</sup>굿세라 주식회사, <sup>2</sup>전주비전대학교 전기공학과

## A Study on Low-noise Propeller Shape Design using Composite Material Molding Method

Ungjin Oh<sup>1</sup>, Jin-Taek Lim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Goodcera Co.,Ltd., <sup>2</sup>Department of Electricity, Vision College of Jeonju

**요 약** 최근 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 항공기 산업의 패러다임이 4차 산업혁명시대를 기점으로 하여 크게 변화하고 있으며 ICT 및 AI 신기술이 융합되고 군수 중심으로 형성되어 있던 드론 시장이 민수시장까지로 서비스가 전반적으로 확대되고 있다. 또한 드론은 배터리를 장착하여 작동하며 배터리를 사용하는 제품군은 제품의 경량화가 중요한 요소 중에 하나이다. 가벼운 만큼 배터리의 소모가 작으며, 효율을 극대화할 수 있기 때문이다. 따라서 최근에는 이러한 경량화하기 위해서 복합소재를 활용하고 있다. 경량화뿐만 아니라 고기능성(난연, 염수 등)을 위해서 프로펠러뿐만 아니라 기체, 내장재, 바닥판, 구동장치, 배터리 하우징 등 대부분의 영역에 적용되고 있으며 핵심기술로 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서는 최근 경량화의 목적으로 부각되고 있는 세라믹섬유 복합소재를 활용하여 드론의 가장 핵심 요소인 프로펠러를 대상으로 소음 및 강도를 개선하고자 하며, 이와 더불어 저소음의 기능적인 디자인을 채택하여 제작함으로써 프로펠러의 성능을 검증하고자 한다.

• **주제어** : 복합소재, 드론, 저소음, 프로펠러, 오토클레이브 성형법

**Abstract** Recently, the paradigm of the aircraft industry, not only domestically but also globally, has been changing significantly starting with the era of the Fourth Industrial Revolution. With the convergence of new technologies such as ICT and AI, the drone market, centered around the military, is expanding its overall services to include the civilian market. Additionally, drones operate by being equipped with batteries, and for product lines that use batteries, lightening the product is one of the critical factors. This is because the lighter the aircraft, the less battery consumption and maximum efficiency. Therefore, recently, composite materials have been used to reduce the weight of the aircraft. To not only reduce weight but also achieve high functionality, it is being applied to most areas such as propellers, airframes, interior materials, floor plates, driving devices, and battery housings, and is emerging as a core technology. In this paper will utilize ceramic fiber composite materials, which have recently emerged for lightweight. It aims to improve noise and strength by targeting propellers, one of the most important factors in drones. In addition, the performance of the propeller developed through the low-noise design will be verified.

• **Key Words** : Composite material, Drone, Low noise, Propeller, Autoclave method

Received 30 September 2023, Revised 25 March 2024, Accepted 30 March 2024

\* **Corresponding Author** Jin-Taek Lim, Department of Electricity, VISION College of Jeonju, 235, Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea. E-mail: jt31223@naver.com

## I. 서론

최근 국내 뿐만 아니라 전 세계적으로 항공기 산업에 대한 관심도가 크게 증가하고 있으며, 작게는 드론(Drone)에서부터 크게는 UAM(Urban Air Mobility) 까지 확대되고 있다. 이러한 항공기 산업의 패러다임이 4차 산업혁명시대를 기점으로 하여 크게 변화하고 있으며 ICT(Information and Communication Technology) 및 AI(Artificial Intelligence) 신기술이 융합되고 군수 중심으로 형성되어 있던 드론 시장이 민수시장까지로 서비스가 전반적으로 확대되고 있다.

우선 국내에서는 항공안전법 제2조 제3호에 의거 드론을 “초경량비행장치란 항공기와 경량항공기 외에 공기의 반작용으로 뜰 수 있는 장치로서 자체중량, 좌석 수 등 국토교통부령으로 정하는 기준에 해당하는 동력비행장치, 헬글라이더, 패러글라이더, 기구류 및 무인비행장치 등을 말한다.” 라고 규정하고 있다. 하지만 최근에는 무인기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)로써 통용되고 있으며 무인기는 사람이 탑승하지 아니하고 원격 조종 또는 자율로 비행할 수 있는 항공기를 의미하고 사용목적과 크기, 형태에 따라 다양한 형태와 기계요소로 구성되어 있다[1].

기존의 드론 시장은 취미용으로 시작하였지만 전술 하였던이 산업용으로 패러다임이 변화하고 있으며 농업, 건설, 인프라, 통신 등 다양한 산업군으로 확대되고 있다. 이 중에서도 농업군에서 널리 사용되고 있으며, 현장의 부족한 노동력을 보완하고 생산성을 향상시키기 위한 스마트 농업으로써 추세가 확대되고 있다.

이러한 다양한 산업군으로의 확대와 맞물려 정부차원에서도 4차 산업혁명에 대응하여 드론을 혁신성장 선도사업으로 선정하고 범정부 차원에서 드론 산업을 육성하기 위하여 다양한 대책과 강화 방안을 논의 중에 있다.

이를 통해서 드론산업 경쟁력 강화 방안을 통해 상대적 비교우위가 있는 드론 활용시장을 중심으로 국제 경쟁력 확보를 위한 육성 계획을 지속적으로 추진 중에 있다. 하지만, 범정부 차원에서 드론 산업을 육성하기 위한 노력을 기울이고 있지만, 기술력 측면에서 선진국 대비 보유기술 수준이 낮은 것으로 나타나고 있으며, 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 항공산업 전반에 대한 다양한 연구 개발이 이루어져야 할 것이다. 또한 이러한 드론은 배터리를 장착하여 작

동을 하게되는데 배터리를 사용하는 제품군은 제품의 경량화가 중요한 요소 중에 하나이다. 가벼운 만큼 배터리의 소모가 작으며, 비행 운영 효율을 극대화할 수 있기 때문이다. 따라서 최근에는 이러한 경량화를 위해서 세라믹섬유 복합소재를 활용하고 있다.

복합소재란 두 가지 이상의 재료가 결합되어 기존 재료보다 우수한 성능을 갖는 재료로써 강화제와 기지재가 결합한 형태이다. 경량화뿐만 아니라 고기능성(난연, 염수 등)을 위해서 프로펠러뿐만 아니라 기체, 내장재, 바닥판, 구동장치, 배터리 하우징 등 대부분의 영역에 적용되고 있으며 핵심기술로 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서는 최근 경량화의 목적으로 부각되고 있는 세라믹섬유 복합소재를 활용하여 드론의 가장 핵심 요소인 프로펠러를 대상으로 소음 및 강도를 개선하고자 하며, 이와 더불어 저소음의 기능적인 디자인을 채택하여 제작함으로써 프로펠러의 성능을 검증하고자 한다.

## II. 관련연구

### 2.1 세라믹섬유 복합소재

복합소재는 유기 소재, 세라믹 및 금속재료 중 두 개 혹은 그 이상의 재료가 결합하여 각각의 재료보다 더 좋은 물성을 나타내는 소재를 뜻하며, 기지재(Matrix)와 강화재(Reinforced Material)로 구성된다.

기지재는 모재라고도 불리며 제품의 기본 형태를 유지해주고, 강화제를 결합해주며 가해진 하중을 분산된다. 이때 기지재는 열경화성 수지와 열가소성 수지로 나뉜다. 이중에서도 열경화성 수지는 열을 가하면 고분자 물질이 서로 결합되는 화학적 반응으로 경화되는 수지이며, 다시 열을 가해도 원래대로 복구되지 않으므로 재사용이 불가능하다. 하지만, 항공산업에 주로 사용되고 있으며 대표적인 소재로는 폴리에스테르, 에폭시가 있다[2].

다음으로 강화제는 섬유상 또는 분말 상의 형태를 가지고 기지재에 균일하게 분산되어야 하고, 기지재와의 탄성을 상관관계에 따라 보강 효과가 상이하게 나타나는데 주로 탄소섬유, 유리섬유, 현무암섬유, 보론섬유, 텅스텐섬유, 아라미드섬유 등이 사용된다.

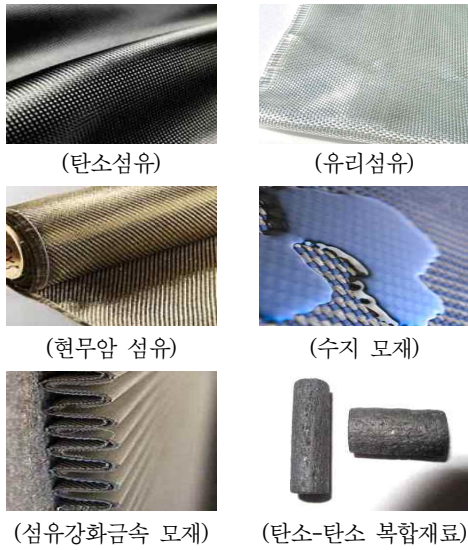


Fig. 1. Matrix and Reinforced Material

입 방식 등이 있다. 하지만, 항공 산업군에서는 성형 후 가장 품질이 우수한 오토클레이브 성형법이 사용된다[3].

- 오토클레이브 성형법: 오토클레이브란 열과 압력을 동시에 가할 수 있는 가압로를 뜻하며, 복합재료인 프리프레그를 적층한 후 오토클레이브에 넣고 열과 압력을 가해 성형하는 방법이다.

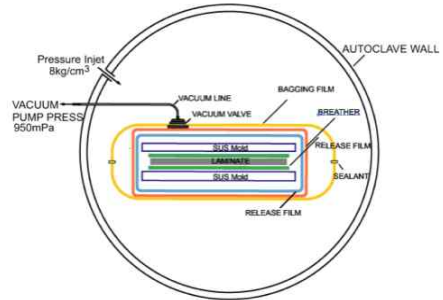


Fig. 3. Autoclave process

## 2.2 세라믹섬유 복합소재의 성형방법

세라믹섬유 복합소재의 성형공법으로는 몰드(Mold)에 어떻게 작업하는지에 따라 개방형과 폐쇄형으로 구분된다.

- 개방형: 몰드에 수지와 보강제만을 적층하는 방식 (ex. 핸드레이업, 스프레이 레이업 등)
- 폐쇄형: 비닐백, 금형등을 이용하여 몰드를 덮은 뒤 수지와 강화제를 적층하는 방식 (ex. 핫프레스, RTM(Resin Transfer Molding), 진공백 몰딩, 진공 주입 방식, 오토클레이브 등)

따라서 본 과제에서도 품질이 우수한 오토클레이브 성형법을 적용하여 드론용 3엽 프로펠러를 제작하고자 한다.

## 2.3 프로펠러의 설계 이론

드론을 포함한 항공기들이 비행방향으로 전진하기 위해서는 전진 시 발생하는 항력을 상쇄하고 나아갈 수 있는 추력이 필요하다. 이러한 추력은 프로펠러의 회전에 의하여 발생된다. 또한, 프로펠러는 동력장치로부터 받은 출력을 추력으로 바꾸어주는 역할을 하고 있기 때문에 추력의 손실을 최소화하고 효율을 극대화하는 측면에서 프로펠러는 핵심 요소라고 볼 수 있다. 최초 독일의 항공공학자 Betz가 제시한 프로펠러 설계 이론을 미국의 항공공학자 Theodorsen이 이 이론을 확대 적용하였으며 오늘날까지도 프로펠러 설계에 사용되고 있다. 프로펠러의 추력(T) 및 토크(Q)를 구하면 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다[4].

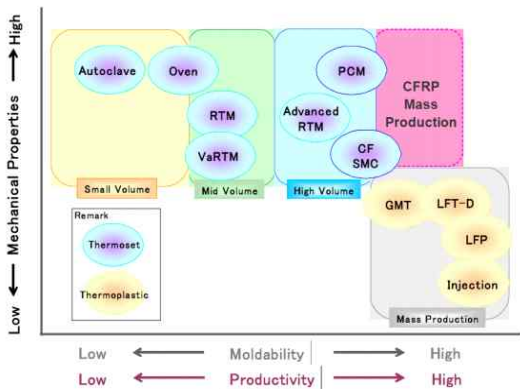


Fig. 2. Composite molding method

일반적으로 세라믹섬유 복합소재를 활용하여 성형을 하는 작업에서는 핸드레이업, 진공백 몰딩, 진공 주

$$T = C_T \rho n^2 D^4 \quad (1)$$

$$Q = C_Q \rho n^2 D^5 \quad (2)$$

단,

$C_T$  : 추력계수,  $C_Q$  : 토크계수,  $\rho$  : 유체밀도,

$D$  : 프로펠러의 직경,  $n$  : 프로펠러의 회전수

## 2.4 프로펠러의 설계

프로펠러의 설계에 앞서 가장 중요한 것은 효율 및 구조 강도이다. 따라서 주어진 환경에서 최적의 효율을 내면서 구조까지 설계할 수 있는 시스템 정립이 되어야 한다.

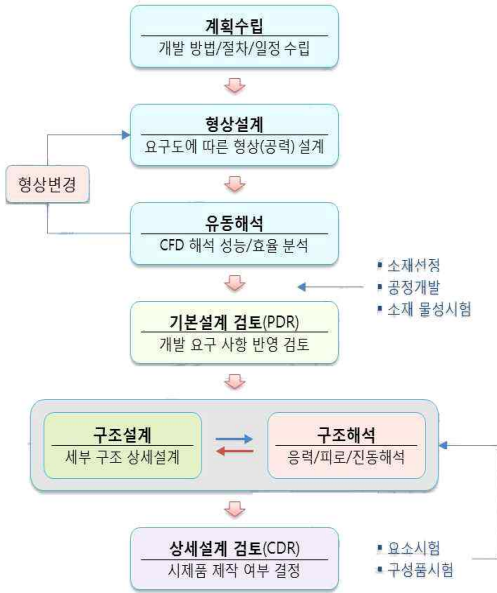


Fig. 4. Propeller design and optimization process

그림은 프로펠러의 형상 설계 및 최적화 과정을 나타낸 것이다. 형상 설계를 통해 디자인된 프로펠러를 유동 해석을 통해서 성능 및 효율을 분석하고 검토하여 재설계 과정을 반복하여 프로펠러의 최적화 모델링을 적용하였다.

## III. 프로펠러의 제작

### 3.1 저소음 프로펠러 설계

본 논문에서는 프로펠러의 효율과 함께 저소음의 기능적인 요소를 결합하여 설계하였다. 프로펠러(허브+블레이드)는 고속 회전 시 깃등의 낮은 압력과 깃면의 높은 압력이 고속회전의 원심력 작용으로 깃끝단으로 이동하게 되고, 깃끝에서는 깃면의 높은 압력이 깃끝을 타고 낮은 압력의 깃등으로 이동하며 양력을 저하시키고 소음을 발생시키는 원인이 되기도 한다. 이때

이러한 소음을 억제하기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만, 대표적으로는 덕트 구조, 깃 끝단의 설계 변경으로 인한 방법을 들 수 있다.

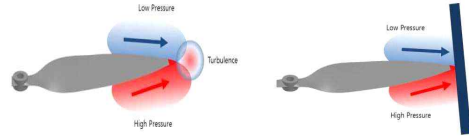


Fig. 5. Noise generation and the role of ducts

하지만, 덕트형 구조의 경우에는 유지 관리 및 에너지 효율성 등의 단점을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 깃 끝단의 설계 변경을 통해서 3엽 프로펠러를 설계하였다.

이때, 블레이드 단면의 비틀림 정도는 허브에서 팁까지의 일정한 양력 발생하기 위한 것으로 같은 동 RPM에서도 위치에 따라 속도는 달라질 수 있기 때문에 일정한 회전 속도에 대해 블레이드 기준선의 접선 속도는 블레이드 길이에 따라 팁 쪽으로 증가하여 소음이 발생되므로 블레이드의 피치는 모든 기준선에서 동일하게 최적화를 통한 비틀림 각도를 부여해야 한다 [5,6].

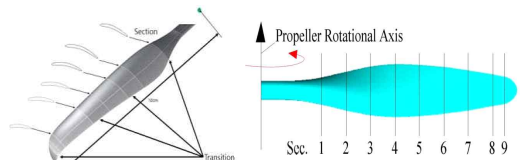


Fig. 6. Cross-sectional view and slope structure of the blade

다음의 그림에서 보시는 바와 같이 블레이드 최대 코드는 0.5R 지점에서 결정되고, 끝단으로 갈수록 작아지는 형상을 띤다. 또한, 블레이드 단면 형상의 최대 두께는 블레이드 루트 부분에서 최대가 되고 끝단으로 가면서 선형적으로 감소하는 형상을 가진다.

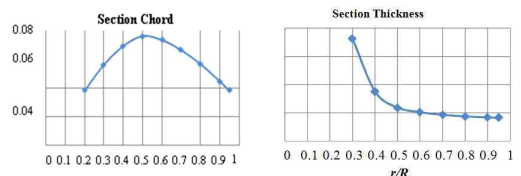


Fig. 7. Chord length and thickness distribution of blade

따라서 깃 끝단의 구부림 구조와 깃등-깃면의 두께를 조정하여 최종 디자인 형상을 설계하였다.



Fig. 8. 3-blade low noise propeller



Fig. 9. 3-blade low noise propeller design

### 3.2 프로펠러 몰드 설계 및 제작

설계된 프로펠러를 복합소재를 활용하여 제작하기 위해서는 몰드가 필요하다. 따라서 디자인된 프로펠러의 형상으로 몰드를 설계하였다.

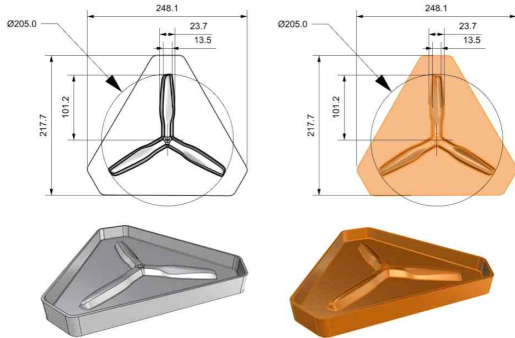


Fig. 10. Top and bottom mold design

몰드는 추후 오토클레이브 성형법을 활용하기 때문에 알루미늄으로 하였으며, 가공을 통해서 프로펠러 상/하판 알루미늄 몰드를 제작하였다.



Fig. 11. aluminum propeller mold

### 3.3 프로펠러 제작

시제품 제작을 위해 한국세라믹기술원의 오토클레이브 장비를 활용하였고 제작된 알루미늄 프로펠러 몰드를 활용하여 복합소재를 적층 한 후 오토클레이브에 넣고 성형하여 최종 3엽 프로펠러를 제작하였다.



Fig. 12. Propeller manufacturing process



Fig. 13. Propellers made of composite materials



Fig. 14. Tip of the propeller blades



Fig. 15. Propeller attached to the motor

## IV. 실험

### 4.1 3엽 프로펠러의 소음도 측정

일반적으로 드론에 3엽 프로펠러를 부착하였을 때,

소음도를 측정하면 80~100dB 정도로 나타난다. 중국 D사의 M모델의 일반 프로펠러를 대상으로 하여 소음도를 측정했을 때 소음도가 약 100dB로 측정되었다. 따라서 본 논문에서는 프로펠러의 소음도의 기준을 100dB로 가정하였다. 제작한 프로펠러를 실제로 모터에 장착하여 구동하기 위한 부속품과 소음도를 측정하기 위한 지그를 추가로 제작하여 실험을 수행하였다.



Fig. 16. Manufacturing accessories for propeller testing

제작된 프로펠러의 소음도 측정을 위하여 공인인증기관의 입회하에 진행하였으며 프로펠러의 RPM은 약 2,400rpm 범위로 설정하였다. 이때, 프로펠러의 소음도는 78dB의 평균값으로 측정되었다.



Fig. 17. Propeller noise level measurement

따라서, 본 논문을 통해서 개발한 드론용 저소음 3엽 프로펠러의 경우에는 기존 시중에 판매되고 있는 3엽 프로펠러보다 소음도가 약 20dB 낮은 것으로 나타났다. 깃 끝단을 구부림으로써 소음도를 일정 부분 상쇄시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 이를 활용하여 프로펠러의 국산화하기 위한 기술력 확보를 위해 계속해서 지속적인 연구 개발이 필요하다.

## V. 결론

현재 전 세계적으로 세라믹섬유 복합소재를 활용하여 다양한 제품과 산업군에서 활발하게 사용되고 있다. 특히 우주/항공, 해양 선박, 자동차등에서 금속 대체재로써 그 수요가 크게 증가하고 있는 추세이다. 또한, 최근에는 배터리를 사용하는 다양한 제품군들에서 배

터리의 효율을 높이기 위하여 세라믹섬유 복합소재를 활용하고 있다.

본 논문에서는 세라믹섬유 복합소재를 활용하여 드론용 3엽 프로펠러를 개발하였으며 이의 성능을 검증하였다. 본 논문에서 개발한 3엽 프로펠러는 저소음 설계를 적용하여 기존의 일반적으로 사용되는 드론용 프로펠러와 비교했을 때 약 20dB 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 저소음 설계로는 깃 끝단을 구부림으로써 공기의 저항을 줄이고 그에 따른 소음을 줄이는 방법을 적용하였다. 이를 통해서 깃 끝단을 구부림으로써 어느 정도 소음을 상쇄시키는 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 추후에도 프로펠러에 대한 연구를 지속적으로 할 예정이며, 고효율 저소음 프로펠러를 개발하고자 한다. 또한 나아가 이를 UAM에 부착될 프로펠러에도 적용시키고자 한다.

## REFERENCES

- [1] J. T. Lim, "A study on the characteristic analysis of the pest control drones using smart operating mode", *Journal of Convergence for information technology*, vol.9 no.10, pp. 108-113, 2019.
- [2] H. J. Kim, "Development of high-efficiency composite propeller," Report, 2011.
- [3] W. W. Heo, G. W. Jeon, S. K. An, "Preparing of carbon fiber composites using by vacuum bag hot-press molding process and comparison with the other molding processes," *Composites Research*, vol.33 no.2, pp.76-80, 2020.
- [4] S. H. Lee, H. K. Cho, "Analysis of thrust characteristics with propeller shape for UAV," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, vol.30 no.4, pp.57-64, 2022.
- [5] K. C. Cho, H. J. Kim, I. J. Park, S. B. Jang, "Application of CFD in the analysis of aerodynamic characteristics for aircraft propellers," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol.40 no.11, pp.917-926, 2012.
- [6] J. P. Kim, "An experimental study on noise reduction according to shape change of 3-blade fixed pitch propeller for aviation", PhD Thesis, 2021.

---

## 저자소개

---

오 웅 진 (Ung-Jin Oh)



2013년 2월 : 경상대학교

전기공학과(공학사)

2016년 2월 : 경상대학교

전기공학과(공학석사)

2021년 8월 : 경상대학교

전기공학과(공학박사)

2022년 3월~현재 :

굿세라 주식회사 연구소장

관심분야 : 전력계통, 프로펠러,  
추진체 설계

임 진 택 (Jin-Taek Lim)



2011년 2월 : 경상대학교

전기공학과(공학사)

2013년 2월 : 경상대학교

전기공학과(공학석사)

2016년 2월 : 경상대학교

전기공학과(공학박사)

2019년 2월~현재 :

전주비전대학교 조교수

관심분야 : 시스템, 농업용드론,  
온라인 정보시스템