

기상데이터 센서의 최적 높이를 위한 유동해석 및 비행실험

Flow Analysis and Flight Experiment for Optimum Height of Weather Data Sensor

김영인^{1*} · 구성관² · 박창환³

¹한서대학교 항공정비전공

²한서대학교 항공산업공학과

³한서대학교 항공기계학과

Young-in Kim^{1*} · SungKwan Ku² · ChangHwan Park³

¹Department of Aviation Maintenance, Hanseo University, Chungcheong nam-do 32158, Korea

²Department of Aviation Industrial & System Engineering, Hanseo University, Chungcheong nam-do 32158, Korea

³Department of Aero Mechanical Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do 32158, Korea

[요 약]

과거에 비해 최근에는 항공기 비행 및 기상정보 측정을 위하여 드론을 많이 활용하고 있다. 관련 응용분야로는 저고도 대기자료 측정, 대기 미세먼지 측정, 대기 오염 측정 등이 있다. 그러나 대기자료 측정 센서의 장착위치는 드론 비행체의 구조적 특징 때문에 프로펠러 유동의 영향, 전자파 영향, 드론의 무게중심의 변화를 고려하여 장착하여야 한다. 이 중에서 프로펠러에 의한 기체 상부의 공기유동은 센서의 풍속 및 풍향에 영향을 미치므로 최적 위치를 분석하여 선정해야 한다. 본 연구는 대기자료 측정 센서의 적정 높이 선정에 대한 연구로, 유동 해석을 통하여 유동특성을 파악하고 실험 데이터를 비교 분석하여 적정 센서 장착 높이를 제시한다.

[Abstract]

In recent years, drones have been used to measure aircraft flights data and weather information. Related applications include the measure for low-altitude atmospheric data, the measure for atmospheric fine dust, and the measure for air pollution. However, the mounting position of the atmospheric measurement sensor should be mounted by considering the effects of propeller flow, the EMI effects, and the changes in the weight of the drone. Among these, the upper flow of the propeller affects the wind speed and direction, so the optimal position should be selected. This study deals with the proper height of the atmospheric data measurement sensor. Through the flow analysis, we study the flow characteristics of around a drone and suggest the proper sensor mounting height.

Key word : Flow analysis, Optimum height, Weather data sensor, Wind velocity, Drone.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.551>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 November 2018; Revised 14 December 2018

Accepted (Publication) 27 December 2018 (30 December 2018)

*Corresponding Author ; Young-in Kim

Tel: +82-41-671-6246

E-mail: skku@hanseo.ac.kr

1. 서론

과거 항공기 비행 및 기상 정보 측정을 위하여 비행선, 항공기 또는 라디오존데 등이 사용되었으나 최근에는 무인항공기 및 드론 등을 활용하는 연구가 수행되고 있다. 그 중에서도 멀티콥터형 드론은 과거에 비교해 배터리, 제어기술, 복합재료, 제작 기술 등의 발전으로 성능이 향상되어 다양한 분야에서 활용성이 높아지고 있으며, 대기 및 기상정보 관측에도 활용이 시도되고 있다. 이것과 관련된 응용 분야로는 저고도 대기 자료 측정, 대기 미세먼지 측정, 대기 오염 측정 등이라 할 수 있다.

그러나 드론 비행체는 구조적 특징 때문에 대기자료 측정 센서의 장착 위치의 프로펠러 유동 영향, 전자파 영향, 드론의 무게중심 변화에 따른 비행 특성 영향 등을 고려하여 제작 및 개조하여야 한다. 전자파는 재질, 센서의 장착 높이를 고려해야 하며 무게중심의 변화는 센서의 무게 및 높이를 고려하여야 한다. 특히, 프로펠러에 의한 기체 상부의 공기유동은 센서의 풍속 및 풍향에 영향을 미치므로 이에 대한 영향을 고려한 최적의 장착 위치를 찾아야 한다. 측정 센서의 높이가 너무 낮으면 프로펠러 유동에 의한 영향을 많이 받을 것이며, 너무 높으면 드론의 비행 특성 및 제어에 악영향을 미치므로 적정 높이를 선정이 매우 중요하다 할 수 있다.

최근의 국내외에서도 이와 유사한 연구가 수행되고 있으며, 2017년도에 박영민 외 2명이 멀티콥터 주변의 유동장을 수치 해석적 방법으로 연구[1]하여 센서의 적용 높이를 제시하였고 해외에서는 Tomoya shimura 외 4명이 드론을 이용하여 기상 데이터를 측정하였다[2].

본 연구는 대기자료 측정 센서의 적정 높이 선정에 대한 연구로, 비행특성에 영향을 미치지 않고 프로펠러 유동의 영향이 미치지 않는 센서 장착 높이 도출을 위하여 유동 해석을 실시하였으며, 이를 통하여 유동 특성을 파악하였다. 또한 유동 특성을 고려한 기체의 비행 상태에서 각 높이별로 기체 상부의 풍속 측정 실험을 실시하여 프로펠러의 영향이 최소인 지점을 제시하였다.

II. 속도 해석 및 시험

2-1 유동장 해석

드론 상부의 공기의 유동의 특성을 파악하기 위하여 유동장 해석을 실시하였다. 그림 1은 DJI사 M100 드론으로 A-A'에 대하여 2차원 유동 해석을 실시하였다.

해석 프로그램은 Fluent를 이용하였으며 Spalart-allmaras model의 1차원을 적용하였다. 이 모델은 Kinematic eddy turbulent viscosity를 계산하기 위해 고안된 1차 방정식의 이송 방정식이며 역압력 구배의 경계층 해석에 좋은 결과를 보여준



그림 1. 드론의 유동 해석 부분
Fig. 1. Flow field analysis of drone.

다. 항공분야에서 고안되었으며 항공기 날개의 유동장 해석에 사용되고 있다[3].

Spalart-allmaras turbulence model의 기본 식은 식 (1) 과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \tilde{\nu}) = G_{\nu} + \frac{1}{\sigma \tilde{\nu}} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \rho \tilde{\nu}) \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right\} + C_{b2} \rho \left(\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right)^2 \right] - Y_{\nu} \quad (1)$$

식 (1)에서 좌측 항은 난류의 시간 변화율이며 우측 첫 번째 항은 난류 생성율, 두 번째 항은 난류 확산율, 세 번째 항은 난류 소멸율이다. 위 식에서 난류 생성항(G_{ν})은 다음과 같으며 속도구배의 크기에 비례한다.

$$G_{\nu} = C_{b1} \rho \tilde{s} \tilde{\nu} \quad (2)$$

난류 소멸항(Y_{ν})는 식 (3)과 같으며 벽면에서의 거리가 작을수록 난류는 빨리 소멸된다.

$$Y_{\nu} = C_{w1} \rho f_w \left(\frac{\tilde{\nu}}{d} \right)^2 \quad (3)$$

일반적으로 사용되는 모델의 상수 값은 $C_{b1}=0.1355$, $C_{b2}=0.622$, $\sigma \tilde{\nu}=2/3$, $C_{\nu 1}=7.1$, $C_{w2}=0.3$, $C_{w3}=2.0$, $\kappa=0.4187$ 이며 C_{w1} 은 다음과 같이 구할 수 있다[3], [4].

$$C_{w1} = \frac{C_{b1}}{\kappa^2} + \frac{1 + C_{b2}}{\sigma \tilde{\nu}} \quad (4)$$

유동장 해석에 사용된 사이즈는 가로 5 m, 세로 20 m로 충분한 여유를 주었다. 그림 2는 격자와 유동해석 사이즈를 나타낸 것이다.

그림 1에서 A-A'는 대칭형으로 본 연구에서는 중앙을 중심으로 좌측면만 해석하였다. 격자(mesh)는 삼각(triangular) 격자

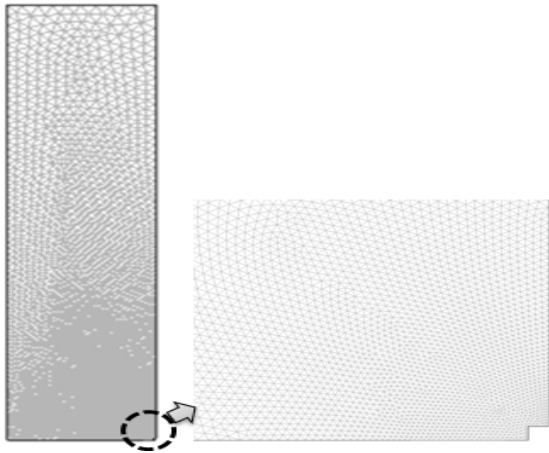


그림 2. 격자 및 사이즈(L5 m x H20 m)
Fig. 2. Mesh and size(L5 m x H20 m).

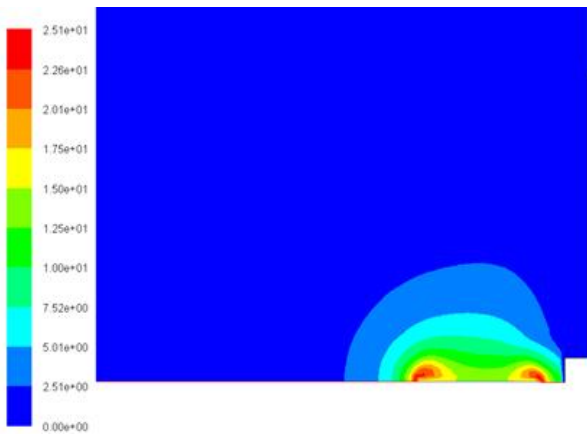


그림 3. 드론 프로펠러 근처의 속도 분포(m/s)
Fig. 3. Velocity contours around drone's propeller.

를 그림 2와 같이 적용하였으며, 프로펠러 하부의 후류 속도는 측정 값인 15.0 m/s를 적용하였다. 그림 3은 전체적인 속도 분포를 나타낸 것으로 프로펠러 양 끝단에서 높은 속도를 나타내고 있으며 위로 갈수록 속도는 작아지는 유동특성을 나타내고 있다.

그림 4는 유체 속도 크기를 화살표로 나타낸 것으로 프로펠러 근처에서 속도가 높아지고 있으며, 기상 측정센서를 장착한 기체의 중앙 부분은 아래에서 위로 높아질수록 속도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림의 오른쪽 아래 부분의 사각 형상은 기체의 동체 부분으로 벽으로 설정하였다.

그림 5는 드론의 중앙부분에서 높이별 속도를 나타낸 그래프로, x 축은 드론 중앙 부분의 높이, y축은 속도이다. 그림에서 나타난 바와 같이 높이 1 m까지는 급속히 감소하다가 그 이상의 높이에서는 완만한 감소를 나타내고 있다. 따라서 이러한 드론 상부/중앙에서의 유동장 특성은 지수 또는 로그 곡선 형태로 감소하는 것으로 확인할 수 있다.

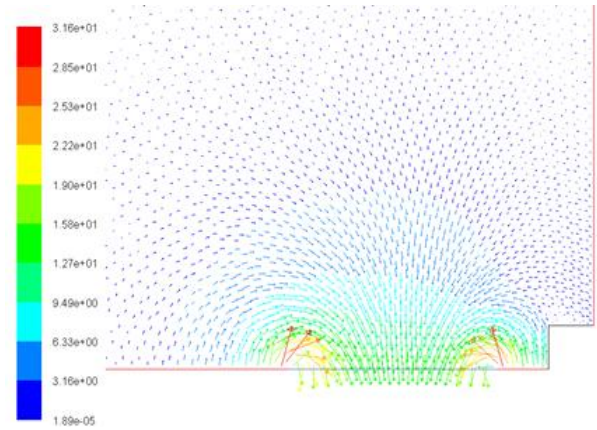


그림 4. 드론 프로펠러 근처의 속도 크기(m/s)
Fig. 4. Velocity magnitude around drone's propeller.

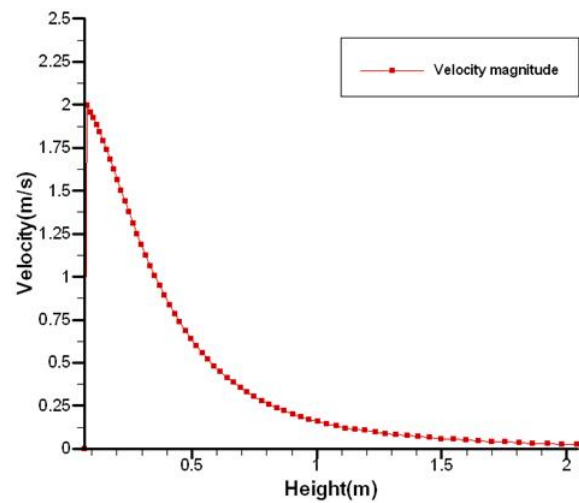


그림 5. 드론 중앙 부분의 속도 선도
Fig. 5. Velocity magnitude curve at center of drone.

2-2 비행실험

본 연구에서는 드론을 이용한 비행시험을 실시하였다. 비행 실험은 센서 장착 높이별 비행 안정성 확인과 프로펠러에 의한 높이별 유동 속도 측정 시험으로 구분하여 실시하였다.

센서 장착 높이는 0.34 m, 0.42 m, 0.52 m, 0.62 m, 0.75 m로 설정하였고, 이에 장착하기 위한 기구를 제작하였다. 그림 6은 센서 장착을 위해 높이별로 제작한 튜브 타입의 프레임이며, 그림에서 좌측 위에 있는 부품은 풍향/풍속 센서를 장착하기 위한 마운트이다.

그림 6은 센서를 장착한 높이 620 mm에 대하여 야외에서 실시한 비행 안정성 시험 장면이다. 이때의 대기 풍속은 1.1 m/s로 측정되었다. 또한, 센서 장착 높이 0.34 m, 0.42 m, 0.52 m, 0.75 m 각각에 대한 비행을 실시하고 측정을 실시하였고, 각 높이 비행에서 풍속 측정을 위한 장비를 장착하였다. 측정 장비는 Kestrel사의 5500 모델을 사용하였다. 측정장비의 풍속



그림 6. 튜브 타입의 센서 지지대
Fig. 6. Sensor support frame of pipe type.



그림 7. 비행안정성 시험
Fig. 7. Flight stability test.

측정 정확도는 $\pm 3\%$ 이며, 회전식 임펠러의 사이즈는 1 inch이다.

시험결과, 비행 안정성에서는 센서의 장착 높이가 낮을수록 안정성이 좋았으며, 0.34m ~ 0.62 m 높이까지는 비행이 안정적으로 이루어졌으나, 0.75 m에서는 약간의 불안정성을 보였다. 또한 센서 마운트 및 프레임 재질의 영향으로 장착된 GPS 안테나에 전파방해를 일으켜 비행의 불안정성이 커질 수 있었으며, 실제 비행시 비행용 GPS 안테나의 높이가 낮은 경우 비행에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

기체 상부의 비행중 높이별 바람 속도의 측정은 그림 8과 같이 외부 바람이 없는 실내에서 측정하였다. 측정시에는 센서를 장착한 높이별로 안정된 비행이 가능한 수준으로 정지비행(hovering)을 실시하였으며, 기록된 속도 데이터의 유효 값을

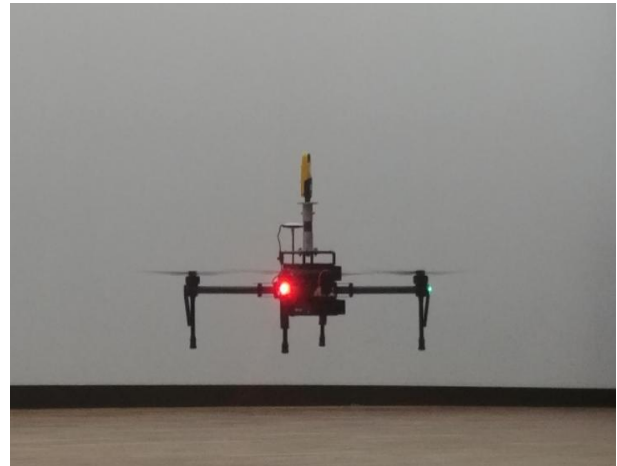


그림 8. 속도 측정을 위한 비행 시험(실내)
Fig. 8. Flight test for velocity measurement(indoor).

표 1. 센서 높이별 측정된 속도 데이터
Table 1. The measured velocity data by sensor height.

Sensor height(m)	Velocity(m/s)
0.34	0.88
0.42	0.64
0.52	0.61
0.62	0.59
0.75	0.57

선정하여 측정 결과를 분석하였다.

속도 측정 시험비행은 바람이 없는 실내에서 측정하였으며 높이별로 정지비행(hovering)에서의 속도 데이터를 유효값으로 선정하였다. 표 1은 비행시험을 통해 획득한 드론 중앙의 높이별 속도 값이다. 측정된 속도 데이터를 기반으로 회귀분석법[5]을 이용하여 실험식 식(5)를 도출하였다.

$$y = -0.346 \ln(x) + 0.4252 \quad (5)$$

추세선은 위의 유동장 해석을 통해 나타난 속도 분포 형태를 기반으로 로그 식을 적용하였다. 산출된 실험식 그림 9에서 확인할 수 있으며, 그림에서 높이별 측정된 속도와 산출된 추세선을 볼 수 있다.

2-3 분석 및 결과

본 연구에서는 유동 특성의 결과를 적용하고 측정된 데이터를 기반으로 실험식을 산출하였다. 그리고 산출된 실험식을 이용하여 기체 상부의 높이별 속도를 그래프로 나타내면 그림 10과 같다.

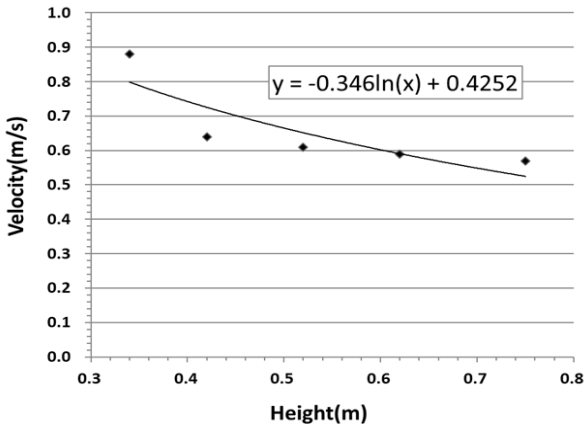


그림 9. 산출된 속도 실험식
Fig. 9. The calculated experiment equation of velocity.

표 2. 센서 높이별 예측된 속도 데이터
Table 2. The predicted velocity data by sensor height.

Height (m)	Velocity (m/s)
0.1	1.22
0.2	0.98
0.3	0.84
0.4	0.74
0.5	0.67
0.6	0.60
0.7	0.55
0.8	0.50
0.9	0.46
1.0	0.43
1.1	0.39
1.2	0.36
1.3	0.33
1.4	0.31
1.5	0.28

그림의 데이터 추세는 그림 5와 같은 속도 수체 형태를 보이고 있다. 표 2는 그림 10의 그래프를 데이터로 나타낸 것이다.

일반적으로 항공기상(aviation weather)에서는 관제사 및 조종사 등 바람 정보가 필요한 사람에게 kts 단위의 풍속 정보를 제공한다. 따라서 풍속 측정도 1kts 단위로 실시하고 있다.

프로펠러 주변의 유동에 의하여 풍속 측정에 영향을 미치는 경우 정확한 측정이 안 되기 때문에, 측정 센서의 위치가 기체에서 높이 떨어져 있으면 좋지만 이 경우 무게중심 상승으로 인한 비행 안전성이 낮아지게 된다. 따라서 적절한 비행을 위해서는 수준의 높이의 결정이 필요하다.

이때 풍속의 최소 측정단위 1kts 수준인 초속 0.5 m/s를 기준으로 오차가 발생하는 것을 감수하게 되면, 적정 센서 높이는 0.8 m 수준임을 확인할 수 있다.

만약, 드론의 프로펠러에 의한 풍속 영향이 미치지 않아야

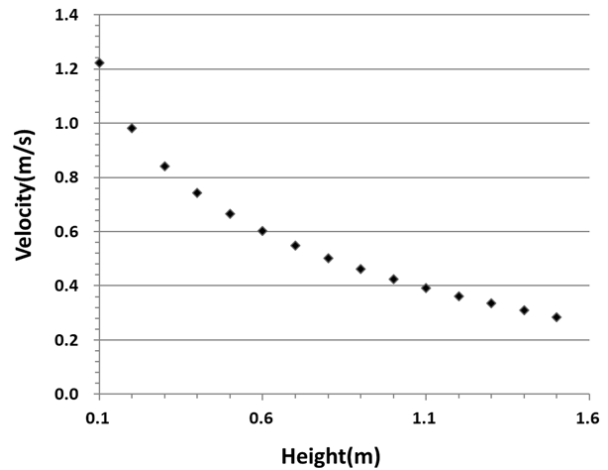


그림 10. 실험식을 적용한 속도 그래프
Fig. 10. Velocity graph with experiment equation.

해서 더 높은 장착 위치를 선정이 필요하다면, 크기가 더 큰 드론을 이용해야 하거나, 상부에 바람막이 장치(wind fence)를 설치하는 것도 방법이 될 수 있다.

III. 결 론

본 논문은 대기자료 측정 센서의 적정 높이 선정에 대한 연구로, 비행특성이 변하지 않고 프로펠러 유동의 영향이 미치지 않는 높이를 위하여 유동해석을 실시하였다. 유동해석 결과, 유동은 지수 또는 로그 곡선 형태로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 시험비행을 통하여 프로펠러 상부/중앙에서의 높이별 속도를 측정하였다. 그리고 실험 데이터를 이용하여 로그 곡선의 실험식을 도출하였으며 이 식을 이용하여 적정 높이를 제시하였다. 측정 장치의 오차 및 기상 분야에서의 일반적인 바람의 크기의 판단을 고려해 볼 때, 적정 높이는 0.8 m로 나타났다. 본 연구 자료는 각종 센서의 장착을 제시함으로써 드론 관련 비행체 개발에 활용될 수 있으며 향후에는 실제 기상 데이터 측정을 통하여 필드 실험의 검증을 실시할 계획이다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업 연구비 지원(18CTAP-C143284-01)에 의해 수행되었습니다. 지원 기관에 감사드립니다.

References

[1] Y. M. Park, C. H. Lee, and Y. G. Lee, "Numerical analysis of flowfield around multicopter for the analysis of air data sensor installation," *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 20-27, 2017.

[2] T. Shimura, M. Inoue, H. Tsujimoto, K. Sasaki, and M. Iguchi, "Estimation of wind vector profile using a hexarotor unmanned aerial vehicle and its application to meteorological observation up to 1000 m above surface," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 35, No. 1, pp. 1621-1631, 2018.

[3] Fluent Inc., *Fluent 6.3 User's guide*, Lebanon, NH, Fluent Inc., pp. 12-7-12-11, 2006.

[4] H. K. Myong, *Computational Fluid Dynamics*, Seoul, Korea, *Munundang*, pp. 58-66, 2012.

[5] H.Y. Lee, *Research metrology*, Seoul, Korea: Cheongram, pp. 380, 2013.



김 영 인 (Young-In Kim)

2012년 03월 ~ 2018년 08월 : 한국항공대학교 (공학박사)
 2015년 05월 ~ 2017년 05월 : 충북 MRO산업 정책자문 위원
 2015년 12월 ~ 현재 : IPC Korea standards committee 기술자문 위원
 2007년 03월 ~ 현재 : 한서대학교 항공융합학부 항공정비전공 교수
 2016년 09월 ~ 현재 : 한서대학교 항공기술교육원 원장
 ※ 관심분야 : 로켓추력 분석 및 해석, 항공정비공학, 항공정비 기술



구 성 관 (SungKwan Ku)

2017년 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 (이학박사)
 2009년 9월 ~ 2014년 2월 : 한국산업기술시험원 기계시스템본부 연구원
 2015년 6월 ~ 2016년 8월 : Virginia Tech 방문 교수
 2014년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공산업공학과 조교수
 ※ 관심분야 : 항공교통, 시스템분석, 안전성평가, 시뮬레이션, 시험평가인증



박 창 환 (ChangHwan Park)

2005년 : KAIST 항공우주공학과 (공학박사)
 2005년 9월~2013년 2월: 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
 2013년 3월~2018년 2월: 삼성전기 중앙연구소 수석연구원
 2018년 3월~ 현재 : 한서대학교 항공기계학과 조교수
 ※ 관심분야 : 공기역학, 전산유체역학, 유체기계설계, 난류유동