

적층구조를 가진 CFRP의 중앙 노치구멍이 미치는 영향에 관한 해석적 연구

박재웅¹, 김은도², 조재웅^{3*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과, ²더원과학 기술연구소, ³공주대학교 기계자동차학부

Analysis Study on Influence that the Center Hole Notch of CFRP with Laminated Structure Affects

Jae-Woong Park¹, Eundo Kim², Jae-Ung Cho^{3*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²R & D Center, TheONE Science

^{3*}Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 본 논문에서는 CFRP로 구성된 항공 드론 프레임의 수직 낙하충격으로 인한 CFRP적층구조에서의 파손거동을 해석적 연구를 통해 파악하였다. 기존 플라스틱 재료와 달리 CFRP는 섬유로 구성되어 파손거동이 복잡하다. 따라서 이에 대한 실험에 앞서 해석적 연구를 통해 선행 연구가 중요하다. 본 연구의 결과로서 기존의 연구모델과 비교하여 보면, 같은 조건으로 중앙 노치구멍을 가진 적층된 CFRP 드론 프레임의 해석모델에서 가해진 응력의 값이 크게 줄어들 수 있었다. 본 연구 결과를 토대로 드론프레임의 노치구멍에 관한 기반데이터를 융합기술에 접목함으로써 그 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

주제어 : 탄소 섬유 강화 플라스틱, 항공 드론 프레임, 적층구조, 파손, 노치구멍

Abstract In this paper, the fracture behaviour at CFRP laminated structure due to the vertical falling impact of the fight drone frame composed of CFRP was investigated through the analytical study. As CFRP consists of fiber differently from the existing plastic material, the fracture behaviour becomes complex. So, the preceding study is important through the analytical study before this experiment. By comparing with the existing study model at the same condition as the result of this study, the applied stress value is shown to decrease greatly at the analysis model with the center notch hole of the laminated CFRP drone frame. On the basis of this study result, the esthetic sense can be shown as the foundation data about the notch hole of drone frame are grafted onto the convergence technique.

Key Words : CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), Fight drone frame, Laminated structure, Fracture, Notch hole

1. 서론

경량 프레임을 개발하고자 하는 시도는 과거부터 현

재에 이르러 미래에까지 계속되어 가고 있다. 과거 금속 재료를 주로 이용하였으나 두가지 이상의 재료를 함께 사용하여 물성을 증대시키는 복합재료기술의 발전은 산

*This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2015R1D1A1A01057607). This work was supported under the framework of international cooperation program managed by National Research Foundation of Korea (2016K2A9A2A06004689). This research was supported by Ministry of SMEs and Startups(C0452819) at 2016.

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho(jucho@kongju.ac.kr)

Received December 13, 2017

Revised December 20, 2017

Accepted February 20, 2018

Published February 28, 2018

업에서 사용되는 소재의 변화 시켰다. 그 중에서도 가장 독보적인 발전을 이루고 있는 FRP(Fiber reinforced plastic)은 같은 무게의 금속재료와 비교했을 때 높은 비강도를 나타내며 항공산업에 처음 적용된 이래로 수송분야와 레저스포츠 산업군에서 가장 활발히 사용되고 있는 복합재료이다. 본 연구는 이런 레저스포츠 산업군에서 빠른 성장세를 보이고 있는 항공드론산업에서 사용되고 있는 CFRP드론의 낙하충격에 관한 것으로, 일반 등방성 재료로 구성되지 않은 복합재료 드론에서의 파괴거동을 해석적 연구를 통해 규명하며, 이에 더해 응력해소를 위한 중앙 노치구멍을 추가하여 낙하충격시의 응력해소를 위한 설계 기반 데이터를 확보하여 후속설계에 기여할 수 있다고 사료된다[1-7].

2. 본론

2.1 해석 모델

본 연구에서는 적층구조를 가지면서도 적층각도를 적용하기 위한 일방향성 탄소섬유를 해석모델에 적용하였다.

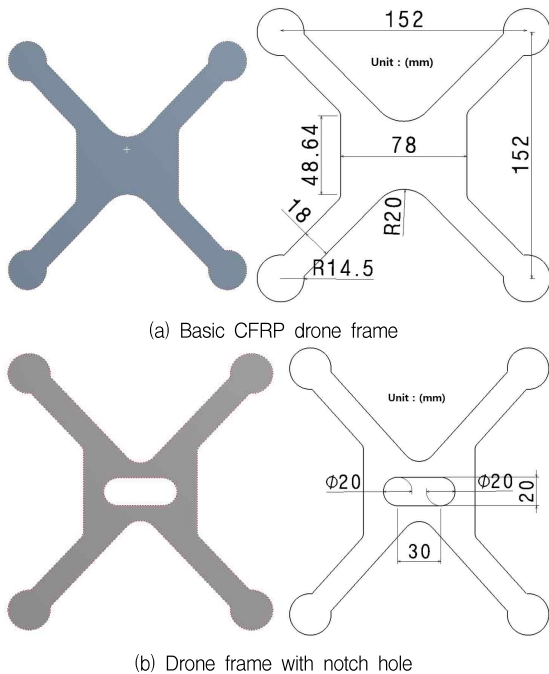


Fig. 1. Shape of Analysis Model

Fig. 1은 본 연구에 사용된 해석모델을 각각 노치구멍이 적용되지 않은 기본모델 (a)와 노치구멍을 적용한 (b)

로 나누어 진행하였다. 각 해석모델은 한 장의 두께가 0.36mm인 탄소섬유 1장을 1장의 Shell요소로 총 18장을 적층하여 5.04mm의 두께를 지닌 해석모델로 구성하였으며 각 층에는 적층각도를 각각 30°, 45°, 60°를 적용하였다. 이 같은 적층각도의 적층은 같은 섬유를 사용하더라도 가해지는 다양한 방향에서의 하중을 효과적으로 분산할 수 있는 최적 섬유 적층각도에 대한 설계인자를 구성하기 위함이다. 다음의 Table. 1은 본 연구의 해석모델에 적용된 탄소섬유 한 장의 물성을 나타낸 것이다.

Table 1. Material property of carbon fiber

Material	Carbon Fiber
Density(kg/m ³)	1.57
Poisson's Ratio XY	0.3
Poisson's Ratio XZ	0.74
Poisson's Ratio ZY	0.3
Shear Modulus XY(MPa)	5076.9
Shear Modulus XZ(MPa)	2580.5
Shear Modulus ZY(MPa)	5076.9
Young's Modulus XY(MPa)	1320
Young's Modulus XZ(MPa)	8980
Young's Modulus ZY(MPa)	8980

Table. 1에 따라 탄소섬유 시트 한 장은 각각의 X, Y, Z축에 따른 물성이 각기다른 이방성 재료의 특성을 지니고 있음을 토대로 이를 각 적층각도에 적용할 시, 같은 하중에서도 각기 다른 결과값을 도출할 수 있을 것으로 파악할 수 있다.

2.2 해석 조건

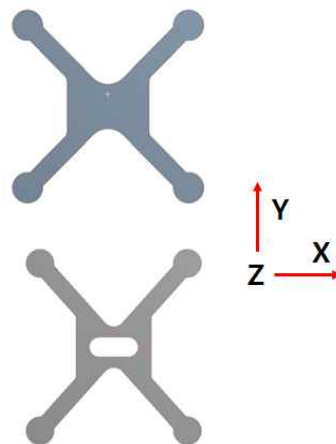


Fig. 2. Analysis Conditions of Model

본 연구에서 해석모델들에는 Fig. 2와 같이 평판의 평면을 XY로 가정할 때, 낙하할 때를 가정하여 드론 프레임의 밑면에서 상판을 향해 모터 지지부 4곳을 고정한 상태로 9800N을 가한다. 각 해석모델과 적층각도에 따른 각 해석조건은 동일하게 적용한다.

2.3 해석 결과

2.3.1 노치구멍이 없는 해석모델

본 연구에서는 CFRP와 결합되는 이종 재료간의 접착제를 이용한 접합부위 파손에 관한 연구 Fig. 3은 노치구멍이 없는 해석모델에서의 등가응력을 나타낸 것이다. 각 적층각도 30°, 45°, 60°에서의 등가응력은 1715.2MPa, 1461.6MPa, 1273.9MPa의 결과값이 나옴을 볼 수 있었다. 이같은 해석결과와 등가응력 분포를 토대로 적층각도가 증가함에 따라 모터지지부와 함께, 중앙의 응력값이 점차 감소함을 볼 수 있었다. 적층각도 60°의 경우, 이전 해석모델들과 다르게 응력 집중이 중앙에서 소폭 감소하고 있음을 볼 수 있어, 해당 적층각도에서 구조적 안전성이 높음을 알 수 있었다. 이는 변형량의 값을 나타낸 Fig. 4에서도 볼 수 있는데, 각 적층각도에서의 변형량은 각각 4.34mm, 3.85mm, 2.25mm임을 알 수 있었다. 낙하 충격이 가해지는 중앙부를 기점으로 변형이 발생함을 볼 수 있는데 적층각도가 증가함에 따라 변형량이 감소하는 이유에 대해 내부 섬유 적층구조가 응력을 분산시킴으로 파악할 수 있다[8-15].

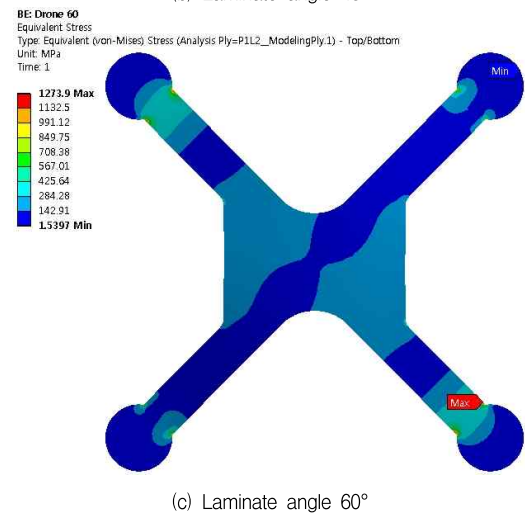
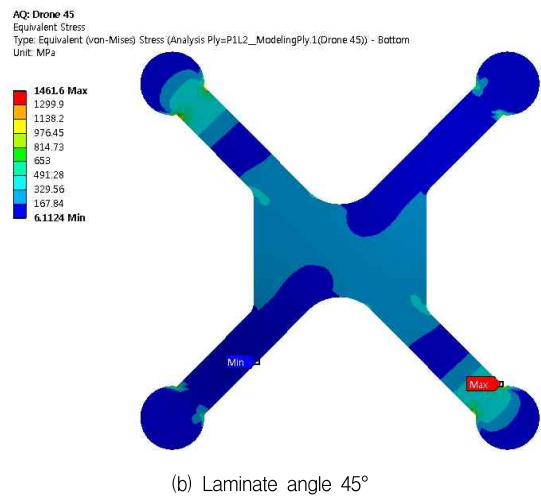
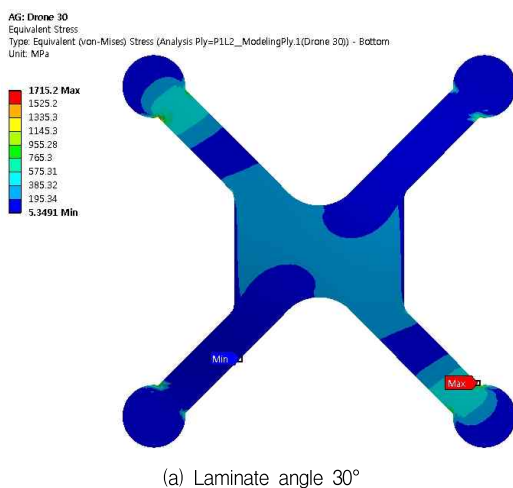


Fig. 3. Stress contour of analysis model with no notch hole

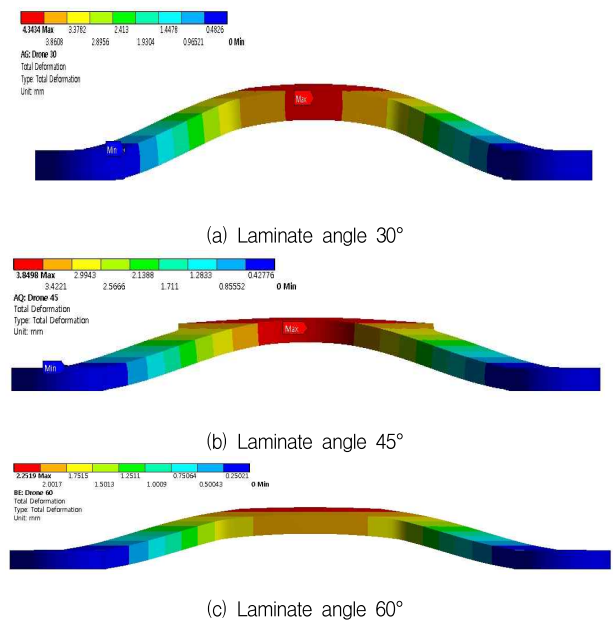
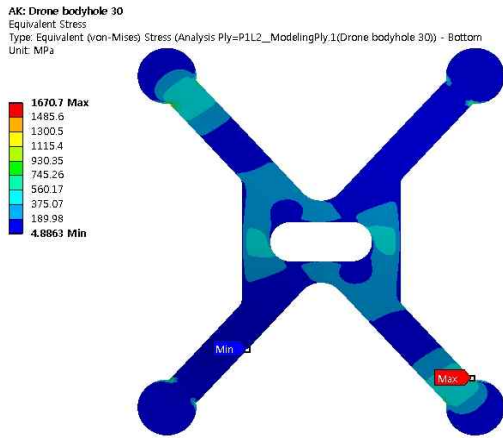


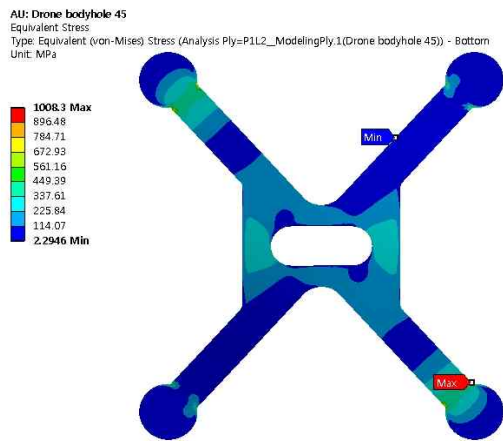
Fig. 4. Deformation contour of analysis model with no notch hole

2.3.2 노치구멍이 있는 해석모델

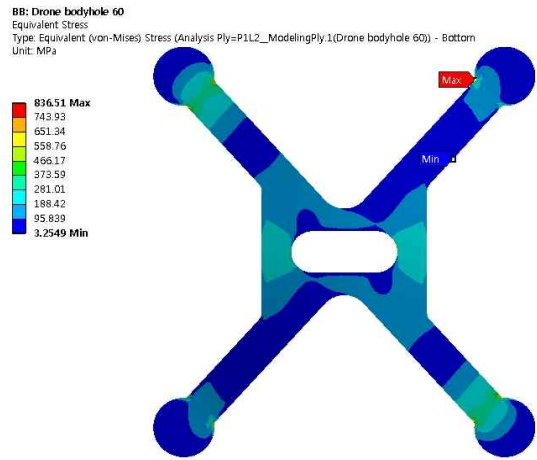
Fig. 5은 노치구멍이 있는 해석모델에서의 등가응력을 나타낸 것이다. 각 적층각도 30°, 45°, 60°에서의 등가응력은 1670.7MPa, 1008.3MPa, 836.5MPa의 결과값이 나옴을 볼 수 있었다. 이같은 해석결과와 등가응력 분포를 토대로 적층각도가 증가함에 따라 모터지지부와 함께, 중앙의 응력값이 점차 감소함을 볼 수 있었다. 적층각도 60°의 경우, 이전 해석모델들과 다르게 응력 집중이 중앙에서 소폭 감소하고 있음을 볼 수 있어, 해당 적층각도에서 구조적 안전성이 높음을 알 수 있었다. 굽힘형태의 하중이 드론에게 나타 나기 때문에 중앙 구멍이 굽힘력을 크게 지지하는 영향으로 중앙 구멍이 있을 시 최대 등가응력이 낮아지는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Laminate angle 30°



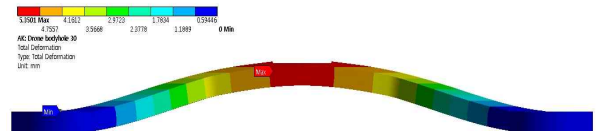
(b) Laminate angle 45°



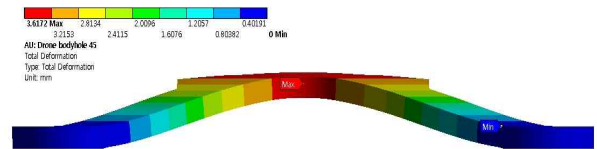
(c) Laminate angle 60°

Fig. 5. Stress contour of analysis model with notch hole

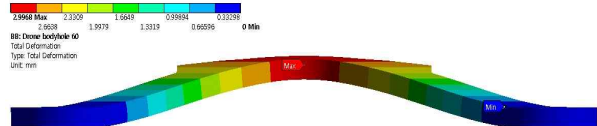
이는 변형량의 값을 나타낸 Fig. 6에서도 볼 수 있는데, 각 적층각도에서의 변형량은 각각 5.3mm, 3.61mm, 2.99mm임을 알 수 있었다. 낙하 충격이 가해지는 중앙부를 기점으로 변형이 발생함을 볼 수 있는데 적층각도가 증가함에 따라 변형량이 감소하는 이유에 대해 내부 섬유 적층구조가 응력을 분산시킴으로 파악할 수 있다. 최대 응력에서와 비슷하게 굽힘형태의 하중이 드론에게 작용되기 때문에 중앙 구멍이 있는 모델이 중앙 구멍이 없는 모델에 비하여 쉽게 변형되며 그 변형량도 커진다.



(a) Laminate angle 30°



(b) Laminate angle 45°



(c) Laminate angle 60°

Fig. 6. Deformation contour of analysis model with notch hole

3. 결론

본 연구에서는 적층각도가 적용된 CFRP 드론프레임의 중앙 노치구멍의 유무에 따른 파괴거동을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 노치구멍이 적용되지 않은 드론프레임의 각 적층각도 30°, 45°, 60°에서의 등가응력은 1715.2MPa, 1461.6MPa, 1273.9MPa의 결과값이 나옴을 볼 수 있었다. 이같은 분포의 차이는 내부 섬유구조에 따른 응력분산의 결과임을 알 수 있었다.
2. 노치구멍이 적용되지 않은 드론프레임의 각 적층각도에서의 변형량은 각각 4.34mm, 3.85mm, 2.25mm임을 알 수 있었다. 낙하 충격이 가해지는 중앙부를 기점으로 변형이 발생함을 볼 수 있는데 적층각도가 증가함에 따라 변형량이 감소하는 이유에 대해 내부 섬유 적층구조가 응력을 분산시킴으로 파악할 수 있다.
3. 노치구멍이 적용되지 않은 드론프레임의 각 적층각도 30°, 45°, 60°에서의 등가응력은 1670.7MPa, 1008.3MPa, 836.5MPa의 결과값이 나옴을 볼 수 있었다. 이같은 분포의 차이는 내부 섬유구조에 따른 응력분산의 결과임을 알 수 있었다.
4. 노치구멍이 적용된 드론프레임의 각 적층각도에서의 변형량은 각각 5.3mm, 3.61mm, 2.99mm임을 알 수 있었다. 낙하 충격이 가해지는 중앙부를 기점으로 변형이 발생함을 볼 수 있는데 적층각도가 증가함에 따른 변형량이 노치구멍이 없는 모델에 비해 증가함에 대해, 응력값의 감소와 함께 내부 섬유구조의 변형에 따른 결과임을 알 수 있었다.
5. 본 논문의 연구결과를 토대로 적층구조를 가지는 CFRP드론의 노치구멍의 유무의 파괴거동에 대한 기반데이터를 토대로 후속설계를 위한 설계인자를 통해 구조안정성 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.
6. 드론 프레임에 구멍의 뚫거나 불필요한 설계 부분을 삭제함으로써 경량화를 이룰 수 있고 이에 따른 긴 체공 시간을 확보 할 수 있다. 이 때 적층각도 45°인 모델이 구멍의 유/무에 따른 변형량 차이가 가장 적고 적층각도 30°인 모델이 구멍 유/무에 따른 최대등가응력 차이가 적었다. 즉, 30°에서 45°의 적층 구조 설계가 중앙 구멍을 가진 드론 프레임에

서 유리하다고 사료된다.

REFERENCES

- [1] J. U. Cho, C. S. Kim, H. S. Lee and Y. C. Kim. (2014). Study of the Damage Property of a Contacted Indent by Finite Element, Method. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 15(10). 5974-5979.
- [2] J. W. Park, J. U. Cho. (2017). Convergence Study on Composite Material of Unidirectional CFRP and SM 45C Sandwich Type that Differs in Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*. 8(7). 231-236.
- [3] G. W. Hwang, J. U. Cho. (2017). Convergence Study on Durability Improvement due to Radius of Arch Type at CFRP Structure with Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*. 8(7). 219-224.
- [4] G. W. Hwang, J. U. Cho. (2017). Analysis Study on the Damage of Crack Happening with the Bending at CFRP Plate due to Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*. 8(3). 185-190.
- [5] J. W. Park, J. U. Cho. (2017). A Study of Fracture Behavior due to the Propagation of Center Crack at Unidirectional CFRP through Finite Element Analysis. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*. 19(1). 21-26.
- [6] J. H. Lee, J. U. Cho. (2016). Evaluation on Strength and Durability of Tensile Specimens of CFRP and Metal with Notches. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*. 18(6). 867-872.
- [7] G. W. Hwang, J. U. Cho. (2017). Analysis Study on the Damage of Crack Happening with the Bending at CFRP Plate due to Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*. 8(3). 185-190.
- [8] J. H. Lee, J. U. Cho. (2016). A Study on Impact Fracture on CFRP Sandwich Composite and CFRP Sandwich Composite with Aluminum Foam Core. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*. 18(2). 214-219.
- [9] J. H. Lee and J. U. Cho. (2016). An Analytical Study on Crack Behavior Inside Standard Compact Tension Specimen with Holes. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*. 40(6). 531-537.
- [10] M. S. Han, J. U. Cho. (2004). A Study on the Plastic Zone of the Specimen at the Impact of Dynamic Load. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*. 12(3). 139-144.

[11] M. S. Kang, H. S. Park, J. H. Choi, J. M. Koo and C. S. Seok. (2012). Prediction of Fracture Strength of Woven CFRP Laminates According to Fiber Orientation. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*. 36(8). 881-887.

[12] K. C. Park and M. S. Kim. (1994). Analysis of the Residual Strengths and Failure Mechanisms in Laminated Composites under Impact Loading, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*. 11(3). 105-121.

[13] C. S. Seak and S. Y. Kim. (2000). Variation of the Fracture Resistance Curve with the Change of a Size in the CT Specimen. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*. 24(12). 2963-2971.

[14] G. W. Hwang, J. U. Cho and C. D. Cho. (2016). A Property of Crack Propagation at the Specimen of CFRP with Layer Angle. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*. 40(12). 1013-1019.

[15] J. U. Cho. (2014). Analytical Study on Durability due to the Load of Artificial Knee Joint. *Journal of the Korea Convergence Society*. 5(2). 7-11.

조 재 웅(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌의 동적 해석
- E-Mail : jucho@kongju.ac.kr

박 재 웅(Jae-Woong Park)

[학생회원]



- 2017년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과(공학석사 과정)
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가 피로 또는 충돌의 동적 해석
- E-Mail : jwesddf@kongju.ac.kr

김 은 도(Eundo Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 경성대학교 물리학과 (이학사)
- 1997년 2월 : 경성대학교 물리학과 (이학석사)
- 2012년 2월 : 경성대학교 물리학과 (이학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 겸임교수, 더원과학 대표
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가 피로 또는 충돌의 동적 해석, 태양전지전문분야
- E-Mail : edgim@naver.com