

유한요소해석을 활용한 차량용 휴대폰 거치대 파라미터 스테디

이현택¹, 노은솔², 홍석무^{2,3*}

¹공주대학교 기계자동차공학부, ²공주대학교 미래융합공학과, ³공주대학교 미래자동차공학과

Finite Element Analysis based Parameter Study of a Car Phone Holder

Hyuntack Lee¹, Eunsol Noh², Seokmoo Hong^{2,3*}

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

²Department of Future Convergence Engineering, Kongju National University

³Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University

요약 차량에서 휴대폰의 역할이 확장되면서 차량용 거치대가 상용화되고 있다. 이때 사용자의 사용 방식이나 습관에 따라 거치대에 과도한 힘이 가해져 변형이 생길 수 있다. 때문에, 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 차량용 거치대에 가해지는 힘에 따른 변형을 확인하고 이를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 해석을 진행하기 전, 실제 차량용 거치대를 참고하여 유사하게 모델링을 진행했다. 운전자가 거치대를 사용할 때 가해질 수 있는 하중의 힘과 방향을 고려하여 총 5가지 하중 조건을 가정해 ANSYS로 유한요소해석을 진행했다. FEA 결과 이음부 목 부분에서 최대 등가응력이 발생하여 목 부분 형상을 변경하고자 밀径 반지름 (r)과 그립부 두께 (t)를 설계 변수로 지정했다. 요인 배치법을 사용해, 2요소, 3수준으로 총 9번의 해석을 진행해 등가응력 분포를 확인했으며, 응력이 최소가 되는 설계 변수 값을 확인했다. 본 연구의 파라미터 스테디를 통해 확보된 치수로 최대 등가응력을 26.33% 감소시켜 설계의 안정성을 증명했다.

Abstract Mobile phones have found increasing use in automobiles (e.g., for navigation, listening to music, etc.), and consequently, car phone holders have become quite an important accessory. However, the phone holder may be subjected to relatively high forces acting from different directions during its usage. Hence, this study performed a finite element analysis (FEA) to find the deformations resulting from those forces to minimize them eventually. First, a model car phone holder was developed based on actual products. Five loading conditions differing in the magnitude and direction of the load imposed on the car phone holder were assumed. Then, finite element (FE) analysis was carried out using the commercial software package ANSYS. The FE results show that the maximum equivalent stress occurs in the neck of the joint. Therefore, the radius (r) and the grip thickness (t) were chosen as the design variables for the factorial experiment. The factorial experiment was carried out with two factors and three levels (9 analyses). The optimal value was then determined based on the analysis and comparison of the stress distributions. With the optimized dimensions, the maximum equivalent stress in the car phone holder could be reduced by 26.33%, improving its stability.

Keywords : Car Phone Holder, Finite Element Analysis, Design Variable, Factorial Design, Equivalent Stress

본 논문은 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업으로 수행되었음 (2021 RIS-004).

*Corresponding Author : Seokmoo Hong(Kongju National Univ.)

email: smhong@kongju.ac.kr

Received November 10, 2021

Accepted February 4, 2022

Revised December 17, 2021

Published February 28, 2022

1. 서론

최근 휴대폰은 통화 기능 이외 게임, 카드 결제 및 네비게이션 등 탑재된 기능이 확대되면서 다양한 장소 및 분야에서 활용되고 있다. 특히 휴대폰 내 네비게이션 기능은 실시간으로 차량 정체 구간을 확인할 수 있어 차량 내 탑재된 네비게이션보다 정확한 위치 정보 확인이 가능하다 [1]. 따라서 차량 내 휴대폰을 고정시켜 사용하기 위해서 차량용 휴대폰 거치대가 상용화되고 있다. 차량용 거치대는 크게 고정 방법에 따라 부착형과 고정형으로 분류되며, 해당 예시를 Fig. 1에 나타냈다. 먼저 부착형 거치대 [Fig. 1 (a)]는 접착테이프나 흡착 방식을 사용해 대시보드, 전면 유리 등 차량 내부에 부착해 사용하는 방법으로 사용자가 원하는 위치에 장착할 수 있어 부착 위치에 제한이 없다는 장점이 있다. 그러나 접착력은 시간이 지날수록 약해지며, 강제 탈거 시 부착 위치에 접착 성분이 일부 남아있어 제거하기 어렵다. 고정형 거치대 [Fig. 1 (b)]는 클립 등을 활용해 차량 내부 송풍구 등에 장착하는 방식이므로 이러한 단점을 보완할 수 있다. 부착 방법과 달리 이물질이 남지 않으며, 탈부착이 용이한 장점이 있어 최근 고정형 거치대에 대한 선호도가 증가하는 추세다. 하지만 휴대폰 거치대 구조상 흔들림이 발생해, 거치대에서 강제로 탈거되어 운전자 주행을 방해할 수 있다. 또한, 거치대 사용시 사용자에 의해 다양한 방향에서 힘이 가해져 변형이 발생할 수 있다. 그러므로 상용화되어 있는 휴대폰 거치대 설계 시 다양한 하중이 가해질 때 제품이 변형될 수 있는 취약점 확인 과정이 필요하다. 이때 부착형 거치대와 달리 고정형 거치대의 경우 송풍구의 변형까지 고려해야 한다. 이처럼 휴대폰 거치대 내구성을 확보하기 위해 다양한 하중 조건에서 고려한 설계가 필요하다.

많은 연구는 이를 검증하기 위해 유한요소기법을 적용했다. Im 등[2]은 접착식 휴대폰 거치대에 가해지는 진동이나 충격을 유한요소해석으로 확인해 파손을 방지하는 설계를 진행했으며, Kim과 Park[3]은 스마트 폰 거치대 취약점을 분석하기 위해 처짐 해석과 진동 해석을 진행했다. 따라서 본 논문에서는 송풍구 고정형 거치대를 유한요소해석으로 취약점을 확인하고 설계를 변경해 변형을 최소화하고자 한다. 거치대는 일반적으로 사용되고 있는 제품을 모방하여 모델링 했으며, 사용자에 의해 힘이 가해지는 상황을 5가지로 구분해 유한요소 해석을 진행한다. 해석 결과를 토대로 설계 변수를 설정하여 응력 분포를 확인해 변형을 최소화하기 위한 설계를 제시하고자 한다.

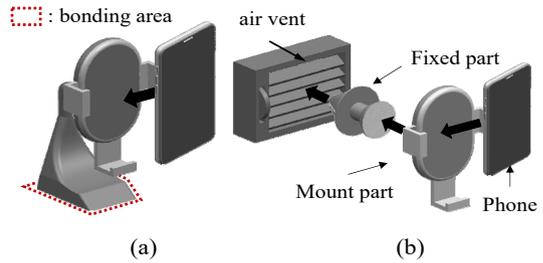


Fig. 1. Car phone holder designs
(a) attachable type, (b) fixed type

2. 본론

2.1 3D 모델링

고정형 거치대 구조는 크게 휴대폰을 장착하는 거치부 (mount part)과 이를 송풍구에 장착할 수 있는 고정부 (fixed part)로 나뉜다. 이는 3차원 캐드 프로그램 CATIA V5를 사용해 실제 고정형 거치대 제품을 모사해 모델링 했다. 거치부는 휴대폰이 -z 방향으로 처짐을 방지하고자 하단에 받침대를 장착했으며, 마찬가지로 좌우 측면 또한 고정할 수 있도록 모델링 했다. 거치부와 고정부는 구 형상으로 연결되어 각도 변환이 용이하게 만들었다. 그림부는 송풍구 날개 간격이 약 8 mm임을 고려하여 장착할 수 있도록 설계했다. 휴대폰 장착 여부에 따라 해석 결과가 달라질 수 있으므로 최신 휴대폰 크기로 고정해 단순화하여 모델링 했다. 이에 대한 각 부품별 모델링은 Fig. 2와 같다.

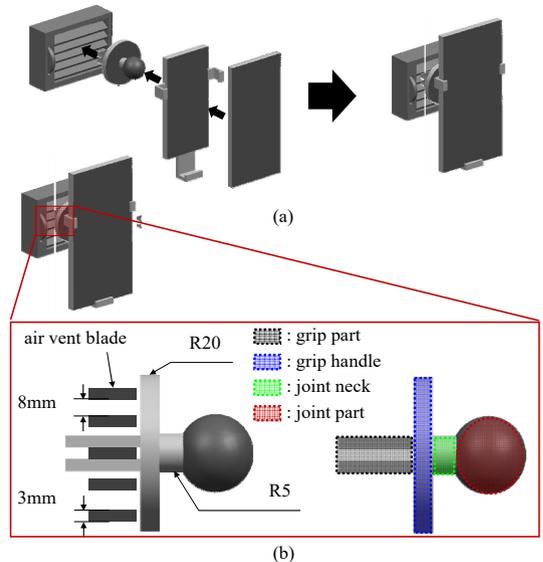


Fig. 2. 3D modeling of the car phone holder
(a) Initial design model and (b) names of the single part

2.2 유한요소해석

2.2.1 재료의 기계적 성질

본 연구에 사용된 거치대는 일반적으로 플라스틱이나 알루미늄 소재로 제작된다. 일반적으로 거치대 소재로 가벼운 플라스틱이 주로 사용된다. Shin 등[4]의 플라스틱 진동 감쇠 연구에 따르면 ABS (acrylonitrile butadiene styrene) 소재는 다른 플라스틱에 비하여 탄성 계수와 공진 주파수 변화가 적고, 사출 성형 또한 쉬워 다양한 제품에 사용된다. 따라서 거치대 소재 물성은 ABS로 적용해 해석을 진행했다. 소재 특성은 Table 1에 제시한 바와 같이 ANSYS software의 database에서 ABS의 일반적인 물성을 사용하였다.

Table 1. Material of plastic

Mechanical Properties	Value
Density	1050 kg/m ³
Young's Modulus	2408 MPa
Poisson's Ratio	0.4075
Ultimate Tensile Strength	38.75 MPa
Yield Tensile Strength	36.13 MPa

2.2.2 경계조건 및 mesh 설정

운전자 거치대를 사용할 때 가해질 수 있는 하중의 힘과 방향을 고려하여 총 5가지 하중 조건을 설정해 해석을 진행했다. 이때 구속조건은 Fig. 3 (a)와 같이 설정하여 모든 Case에 동일하게 부여했다. 이때 휴대폰 무게는 최근 출시된 모델 중 가장 무거운 S사의 Z 모델 282 g을 적용했으며, 실제 거치대가 장착되었을 때를 고려하여 그립부와 에어컨 블레이드가 맞닿는 면에 x , y , z 축 고정 조건을 부여했다. 송풍구에 장착되는 그립부(grip part)에 고정 조건을 부여했다. Case 1은 휴대폰 무게로 인한 처짐이나 변형을 확인하고자, 외력을 가하지 않았다. 다음으로 운전자가 거치대를 사용할 때 가해지는 힘을 고려하여 Fig. 3 (b)와 같이 4가지 방향으로 힘을 가하였고, 총 5가지 Case에 대해 FEA를 진행했다. 하중은 정면, 밀면 그리고 측면의 법선 방향으로 가한다고 가정했다. Kim 등[5]의 3축 힘 센서를 이용한 손가락 힘 측정 장치에 대한 연구에 따르면 손가락으로 가해질 수 있는 최대 힘 크기가 82 N임을 보인다. 따라서 사용자가 손으로 거치대를 밀고 있다고 가정할 때, 하중의 크기를 82 N으로 지정했다. Mesh 크기는 Fig. 4에 도시한 바와 같이 이음부 목(joint neck)과 그립부(grip part)에 과도

응력이 발생할 것으로 예측하여 0.5 mm로 설정했다. 부품별 mesh 크기와 요소 및 노드 수는 Table 2와 같다.

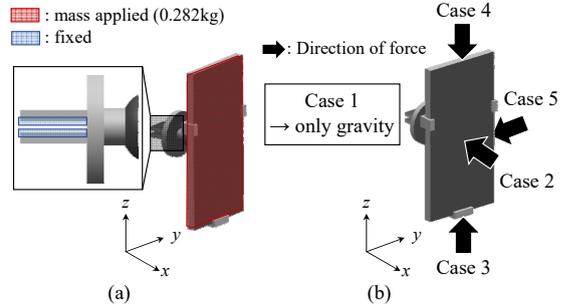


Fig. 3. FEA constraints
(a) and (b) loading constraints 1~5

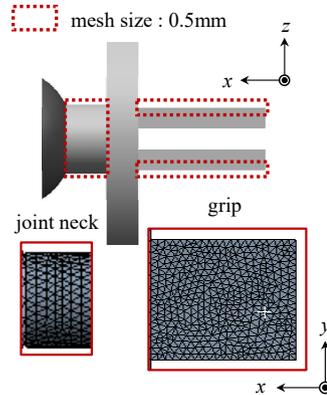


Fig. 4. Mesh size in the joint neck and grip areas

Table 2. Numbers of elements per part

	Mount Part	Fixed Part	Phone	Total
Elements	821	136,983	153	137,957
Nodes	1,872	206,221	1,204	209,297
Mesh Sizing	8.7 mm	1 mm (0.5 mm)	8.7 mm	
Materials	Plastic, ABS		Structural Steel	

2.3 FEA 결과

앞서 경계조건 및 하중에 따라 구조 해석을 통해 등가 응력 결과를 도출했다. 이에 대한 결과를 Fig. 5 (a)에 제시했고, (b)는 가장 높은 결과를 보인 Case 4의 결과이다. 먼저 모든 Case에서 이음부 목 부분에서 최대 등가 응력이 작용하고 있음을 확인할 수 있었다. Jeong 등[6]의 연구에 의하면 연성 재질일 때 안전계수는 항복강도를 Von-Mises 응력(equivalent stress)으로 나눠 구하며, Vidosic [7]는 사용된 소재가 신뢰성이 높고 작용하

는 하중 크기가 명확한 조건에서 안전율을 1.3~1.5로 제안한다. 따라서 본 연구는 휴대폰 거치대 설계 시 안전율 기준을 1.3으로 설정하여 항복강도 36.13 MPa를 Von-Mises 등가 응력으로 나눠 계산된 값으로 구조적 안정성을 판단한다. 구조물에서 받는 3차원 응력을 항복 응력과 비교하기 위해 Von-Mises 등가 응력을 사용하며, 주응력으로 부터 Eq. (1)과 같이 계산된다[8]. ABS 항복강도가 36 MPa임에 따라 Case 1과 Case 2의 경우 최대 등가응력 값이 각각 4.42, 5.99 MPa로 안전율은 6.01~8.14로 구조적 안정성을 확인했다(Table 3). 그러나 Case 3~5의 경우 최대 등가응력이 36.36 MPa, 46.05 MPa 및 42.67 MPa으로 안전율 0.84~0.99로써 구조적으로 안정적이지 않다고 판단된다. 따라서 최대 등가응력이 확인된 Case 4를 하중조건으로 설정하여 휴대폰 거치대 형상을 재설계하여 이음부 목 부분에 응력이 집중되는 현상을 보완하고자 한다.

$$\sigma_{eq} = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Table 3. Safety factor for each case

	factor of safety
Case 1	8.14
Case 2	6.01
Case 3	0.99
Case 4	0.78
Case 5	0.84

3. 파라미터 스테디 및 검증

3.1 설계 변수

유한요소 결과에 따라 등가응력이 과도하게 집중되는 이음부 목 부분 설계 변수를 설정해 파라미터 스테디를 진행하여 하중을 분산시키고자 한다. 이때 이음부와 거치부 연결부가 움직일 때 간섭을 최소화하기 위해 이음부 목형상을 원기둥에서 원뿔대로 변경했다. 이에 따라 원뿔대 밀면 반지름(r)과 높은 하중이 가해질 때 그립에 높은 하중이 가해질 수 있으므로 그립 두께(t)를 설계 변수로 설정해 등가응력 분포를 확인했다. 이때 초기 설계의 이음부 목 반지름이 5 mm이며, 원기둥 반지름이 20 mm임을 고려해 r 최솟값, 최댓값을 10, 20 mm로 설정한다. 또한, 송풍구 날개 두께는 3 mm이고 사이 간격이 8 mm이기 때문에 치수 공차를 예측해 최대 7 mm, 최소 3 mm로 가정해 요인 배치법을 적용해 2요소 3수준으로 총 9번의 해석을 진행했다. Fig. 6에서 설계 변수를 도시하였다. 경계조건 및 mesh 크기는 이전 해석과 동일하게 설정하고 초기 해석에서 가장 큰 등가응력이 확인된 Case 4와 동일한 하중 크기 및 방향을 지정했다.

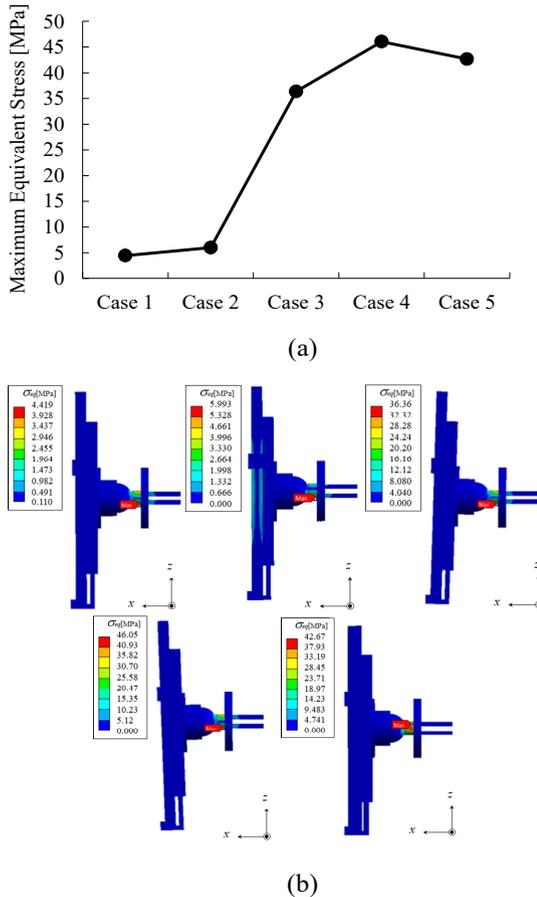


Fig. 5. FEA results
(a) maximum equivalent stresses for the 5 loading cases;
(b) analysis result for case 4

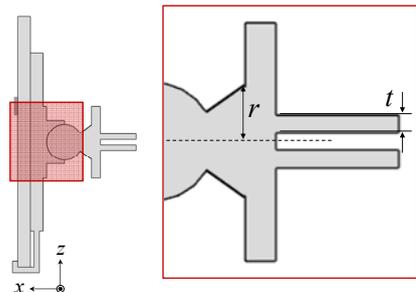


Fig. 6. Design variables t and r

3.2 해석 결과 및 검증

앞서 설정한 설계 변수에 따라 총 9번의 해석을 진행해 최대 등가응력(σ_{eq})을 결과 값으로 지정해 분석했으며, 모든 해석 결과는 Table 4와 같다. 해석 결과에 따르면, t 가 일정할 때, r 이 증가하면서 등가응력이 감소하는 경향을 보인다. 또한 $r = 20$ mm, $t = 3$ mm일 때 이음부 목 부분에서 27.78 MPa의 등가응력으로 가장 작은 값을 보였으며, 해석결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이를 통해 초기 모델의 최대 등가 응력 보다 26.33% 감소된 해석 결과와 함께 안전율 1.35로써 구조적 안정성 기준에 충족하는 결과를 확인할 수 있었다.

Table 4. Design variables t and r and resulting maximum principal stresses for the 9 designs

	t [mm]	r [mm]	σ_{eq} [MPa]
1	3	10	44.13
2	3	15	33.07
3	3	20	27.78
4	5	10	49.79
5	5	15	38.52
6	5	20	31.05
7	7	10	40.72
8	7	15	35.02
9	7	20	33.38

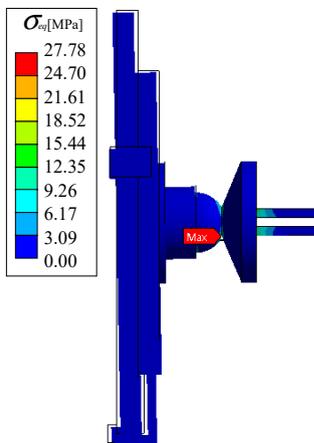


Fig. 7. Result of parameter study

4. 결론

본 연구는 송풍구 고정형 거치대에 다양한 방향에서

하중을 가했을 때 변형과 내구성을 확인하고자 유한요소 해석을 진행했으며, 파라미터 스터디를 통해 새로운 설계를 제시하였다.

- (1) 휴대폰 거치대에 장착된 상태에서 무게만 고려하였을 때와 다양한 방향에서 하중을 가했을 때 내구성을 확인하고자 총 5가지 Case로 분류하여 해석을 진행했다. 이때 손가락의 미는 힘을 고려해 하중 크기를 82 N으로 지정했으며, 소재 ABS 물성을 사용해 경계조건 및 mesh 크기를 고정된 후 구조 해석을 진행했다.
- (2) 해석 결과 모든 Case에서 최대 등가응력이 이음부 목 부분에서 발생했으며, Case 1과 Case 2를 제외한 나머지 경우에서 ABS 항복 응력 36.13 MPa 일 때, 안전율이 0.78~0.99로 구조 안정성 기준 1.3에 부합하지 못했다. 따라서 미흡한 부분을 재설계하여 최대 등가응력을 감소시켜 내구성을 향상하고자 했다.
- (3) 파라미터 스터디를 진행하기 전 거치대 부위 면적을 늘려 집중 하중을 방지하고자 원뿔대 형상으로 변환했다. 설계 변수는 원뿔대 밑 원 반지름(r)과 그립부 두께(t)로 설정했으며, 요인배치법으로 2요소, 3수준 총 9번의 해석을 진행했다.
- (4) 이때 하중 위치는 초기 해석 결과 값 중 가장 높은 등가응력을 보인 Case 4와 지정했으며, 경계조건은 동일하게 설정했다. 9번의 해석 결과 중 $r = 20$ mm, $t = 3$ mm일 때, 가장 낮은 등가응력 값 27.78 MPa를 보였으며, 안전율 1.35로 구조적으로 안정성을 검증했다.

References

- [1] H. Ju, "Smart phone development and use cases", *The Korean Society of Computer And Information*, Vol.19, No.2, pp.5-15, Dec. 2011.
- [2] H. Im, K. Park, D. Kim, J. Chung, "Development of a Car Holder for Absorbing Vibration and Shock", *Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference*, Mokpo, Korea, pp.134-139, October 2014.
- [3] Y. Kim, S. Park, "Modeling, Analysis and Propose improved Design of Smart Phone Cradle", *Proceeding of EDISON Challenge*, pp.452-459, Daejeon, Korea, March 2015.
- [4] S. H. Shin, S. J. Jung, Y. B. Lee, D. H. Lee, H. D. Nam, "Damping Properties of Plastic with Temperature Variation", *Transactions of the Korean Society for*

Noise and Vibration Engineering, Vol.15, No.2, pp.213-218, Feb. 2005.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5050/KSNVN.2005.15.2.213>

- [5] H. Kim, J. Yoon, H. Shin, G. Kim, "Development of Force Measuring System using Three-axis Force Sensor for Measuring Two-finger Force", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.16, No.9, pp.876-882, Sept. 2010.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2010.16.9.876>
- [6] S. Jeong, S. Park, D. Choi, G. H. Yoon, "Development of topology optimization method considering static failure theories of ductile and brittle materials", *Proceeding of the KSME Annual Autumn Conference*, Daejeon, Korea, pp.531-535, November 2012.
- [7] J. P. Vidosic, *Machine Design Project*, Ronald Press, New York, 1957.
- [8] S. H. Lee, B. I. Kim, "Analytical Study on Characteristics of von Mises Yield Criterion under Plane Strain Condition", *Journal of the Korean Academia-Industrial*, Vol.16, No.9, pp.6391-6396, Aug. 2015.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.9.6391>

홍 석 무(Seokmoo Hong)

[중신회원]



- 1999년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학 학사)
- 2001년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학 석사)
- 2007년 3월 : Technical University of Munich, Germany, Department of Mechanical Engineering (기계공학박사)
- 2007년 4월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 GTC, 수석연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 미래자동차공학과 교수

<관심분야>

금속 판재성형 및 단조, 유한요소해석, 최적 설계

이 현 택(Hyuntack Lee)

[준회원]



- 2016년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 기계자동차공학부

<관심분야>

유한요소해석, 최적 설계

노 은 솔(Eunsol Noh)

[준회원]



- 2020년 2월 : 국립공주대학교 금형설계공학과
- 2020년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학원 미래융합공학과 석사과정

<관심분야>

인공지능, 머신러닝, 최적 설계