

자동차용 배터리 포스트 클램프의 최적화에 관한 기초적 연구

최해규¹, 이희성², 김춘식², 김세환³, 조재웅^{3*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²태성전자주식회사, ³공주대학교 기계자동차공학부

Basic Study on the Optimization of Automotive Battery Post Clamp

Hae-Kyu Choi¹, Evan Lee², Choon-Sik Kim², Sei-Hwan Kim³ and Jae-Ung Cho^{3*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Taesung Electro-Circuit Systems, R&D Center

³Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 Battery post clamp는 자동차부품 중 전원 케이블에 결합되어 축전지의 각각의 단자에 고정을 시켜주는 역할을 한다. 본 연구에서는 Battery Post Clamp의 단품을 가지고 재료비 절감과 차량의 무게 감소에 의하여 최적설계를 수행하였다. 설계 변수들로서 최적화함으로서 응력 및 변형량을 구하였으며, 본 연구를 통한 설계에 의해 개선된 모델을 기존 모델과 비교하였다. 이러한 최적화 값들은 배터리 부품 제조 현장에서 유용하게 적용할 수 있다고 사료된다.

Abstract Battery post clamp has the role to fix each of terminals at electric condenser by connecting with the cable of power source. In this study, optimum design was achieved by reducing the material cost and the weight of vehicle with one part of battery post clamp. Stress and displacement were obtained by optimizing with design variables. The advanced model by the design through this study were compared with the original model. These optimum values can be applied usefully with the manufacturing field of battery component.

Key Words : Optimization, Equivalent stress, Total deformation, Automotive battery post clamp

1. 서론

기업에서는 여러가지 설계, 제조, 자동화 도구 및 공정, 품질 관리 개선에 의지하여 왔으며, 특히 자동화 도구들은 제품 설계 및 제작성을 개선함과 동시에 엔지니어의 생산성을 향상시키는 방향으로 초점을 맞추고 있다. 자동차의 경우 다양한 CAD 도구를 통한 설계 지원 시스템과 성능 개선 연구를 통하여 자동차 부품의 고품질, 저 가격을 실현하고 있다. 또한 자동차 경량화는 재료비 감소와 연비 향상, 선진 기술력 제시의 측면에서 매우 중요하여 연구가 이루어지고 있다. 따라서 최근 시대적 추세에 따라 자동차 부품에 대한 최적 설계안 도출이 필요한 것으로 판단된다[1-3].

본 연구에서는 자동차 부품 중 배터리 포스트 클램프를 유한요소해석프로그램을 이용한 최적화를 수행하였다 [4]. 배터리 포스트 클램프는 자동차용 배터리 단자와 전선을 연결하는 결합구이다. 연구모델은 태성전자(주)사에서 개발된 배터리 포스트 클램프로서, 단자와 결합구를 고정함에 있어서, 볼트의 조임으로 결합구에 변형이 일어나지 않는 강성을 갖는 몸체와, 볼트를 손쉽게 조여 결합구를 단자에 견고히 고정할 수 있는 조임수단을 구비한 클램프를 이용한 조임 구조이다. 따라서 본 연구에서는 배터리 포스트 클램프의 최적설계를 위해 Modeling은 Ansys프로그램의 Design Modeler에서 작업을 하였고, Optimization의 툴을 사용하여 최적화를 수행하여, 최적화된 설계변수를 적용하고 그 값의 유용성을 평가한다[5-6].

“본 연구는 지식경제부 지정 공주대학교 자동차의장 및 편외부품 지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.”

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 11년 09월 30일

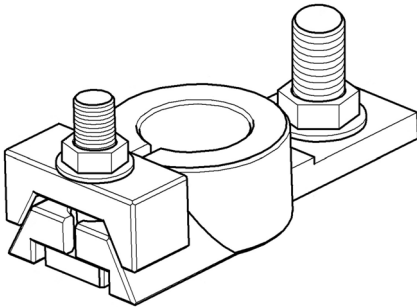
수정일 (1차 11년 12월 08일, 2차 11년 12월 12일)

게재확정일 11년 12월 13일

2. 연구 모델 및 구조해석

2.1 연구 모델

본 연구 모델의 배터리 포스트 클램프는 그림 1과 같은 형태의 포스트 클램프로서 배터리 단자에 외삽되는 몸체 부분과, 조임을 갖는 클램프부, 사각형의 머리부를 갖는 볼트와 너트, 결합판에 전선 결합구를 체결고정하는 고정부재로 이루어져 있다.



[그림 1] 배터리 포스트 클램프의 형상
[Fig. 1] Configuration of battery post clamp

본 연구에서는 최적화를 수행하기 위하여 배터리 포스트 클램프에서 클램프부, 볼트와 너트, 전선 결합구 체결 고정부재를 제외한 몸체부분만을 모델링 하였으며, 형태는 그림 2와 같다.



[그림 2] 배터리 포스트 클램프의 몸체
[Fig. 2] Body of battery post clamp

2.2 재료의 물성치

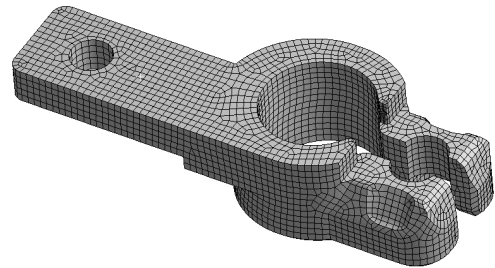
배터리 포스트 클램프의 재질은 동을 주성분으로 한 금속을 사용하였기에 시뮬레이션에서는 동합금으로 설정하였다. 구리(Copper Alloy)합금 재료의 물성치는 표 1과 같다.

[표 1] 모델의 물성치

[Table 1] Material property of model

Copper Alloy		
Density(kg/m ³)		8300
Poisson's Ratio		0.34
Young's Modulus(MPa)		1.1 X 10 ⁵
Tensile Yield Strength(MPa)		280
Tensile Ultimate Strength(MPa)		430

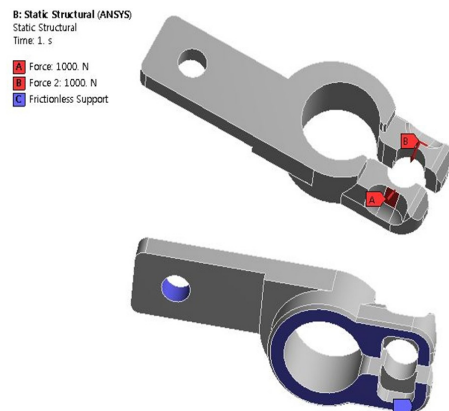
해석을 수행하기 위하여 모델을 그림 3과 같이 유한요소로 분할하였으며, 사용된 요소의 종류는 육면체 요소(Hex Dominant Element)이다. 해석모델의 절점 및 요소들의 43378, 11797 이다.



[그림 3] 유한요소 모델
[Fig. 3] Finite element model

2.3 경계조건 설정

구조해석을 수행하기 위하여 모델을 그림 4와 같은 구속 조건을 설정한다.



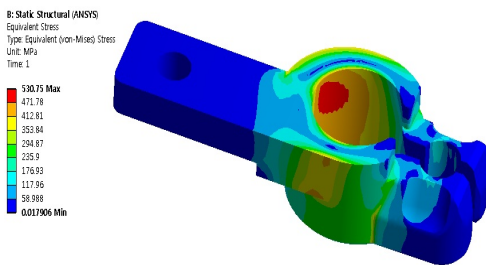
[그림 4] 경계조건
[Fig. 4] Boundary condition

클램프의 움푹 파인 부분에서 면의 수직방향으로 1000N의 Force를 설정한다. 클램프의 밑면과 전선 결합구 부분에 Frictionless Support의 구속조건을 설정하였다.

2.4 초기 모델의 구조해석

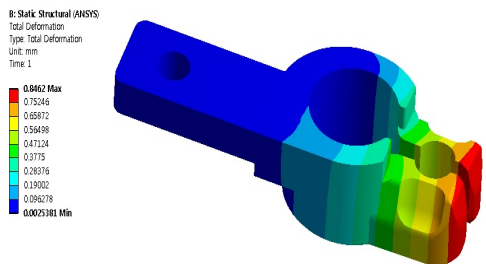
최적화를 통하여 구조해석 결과를 비교해 보기 위하여 최적설계를 수행하기 전의 모델에서 구조해석을 실시한다.

다음 그림 5는 포스트 클램프의 Simulation 해석 결과로 등가응력을 보여주는 그림이다. 최대 등가응력은 약 531MPa의 값을 가지는 것으로 나타났다.



[그림 5] 초기 모델에서의 등가응력 등고선
[Fig. 5] Contour of equivalent stress at initial model

그림 6은 원래 모델의 전체 변형량을 보여주는 그림이다. 최대 전체 변형량은 약 0.85mm의 값을 나타내고 있다.



[그림 6] 초기 모델에서의 변형량 등고선
[Fig. 6] Contour of total deformation at initial model

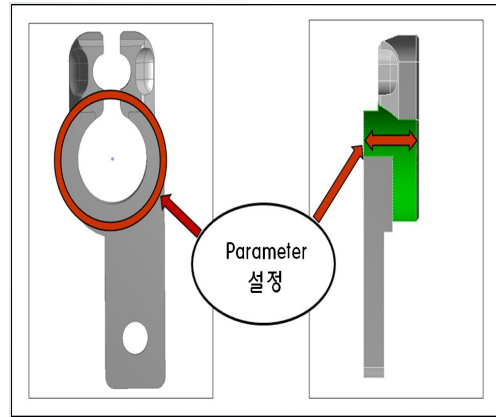
3. 최적화 해석

3.1 파라미터 설정

본 연구에서는 배터리 단자에 외삽되는 결합홀의 설계 변수에 따라 응력 및 변형량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 그림 7과 같이 2개소에 Input Parameter를 설정하

여 최적화에 맞는 데이터 값을 찾으려 하였다.

Input Parameter의 초기 값은 P1은 결합홀의 반지름으로 13.5mm이며, P2는 결합홀의 높이로 12.12mm이다.



[그림 7] 파라미터 설정
[Fig. 7] Parameter setting

3.2 최적화 해석 결과

3.2.1 파라미터 적용 데이터 값

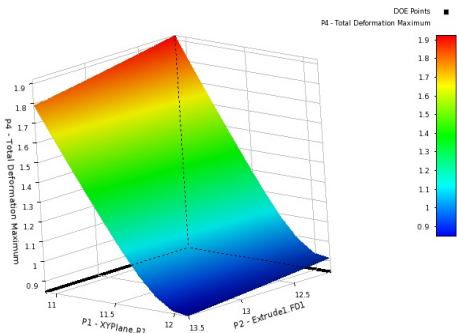
표 2에서는 최적화 해석을 수행하여 P1, P2의 변수에 따른 결과를 표로 나타낸 것이다. Output Parameter는 P3, P4, P5로 Mass, Total Deformation, Equivalent stress를 설정하였다.

[표 2] 파라미터에 적용된 값들
[Table 2] Values applied at parameters

P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (ton)	P4 (mm)	P5 (MPa)
11.514	12.825	4.85E-05	1.2292	748.85
10.908	12.825	4.56E-05	1.8538	953.16
12.12	12.825	5.16E-05	0.8793	540.82
11.514	12.15	4.65E-05	1.2768	676.5
11.514	13.52	5.04E-05	1.1859	636.74
10.908	12.15	4.38E-05	1.9226	978.98
12.12	12.15	4.94E-05	0.9160	557.85
10.908	13.5	4.73E-05	1.791	925.27
12.12	13.5	5.36E-05	0.8462	530.75

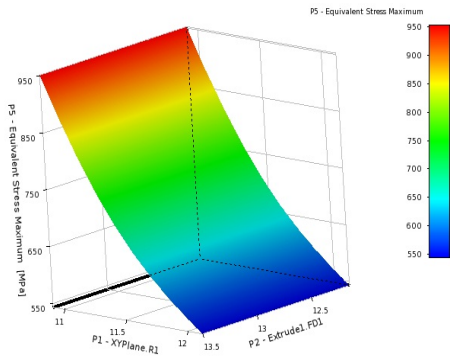
3.2.2 반응 표면

그림 8은 Response Surface의 해석 결과로서 Input Parameter와 Output Parameter의 Total Deformation에 대한 3차원 그래프를 나타낸 것이다.



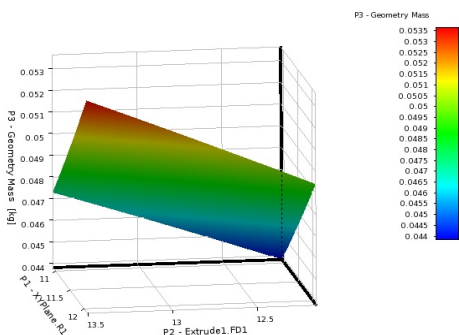
[그림 8] 전체 변형량에 대한 반응 표면
[Fig. 8] Response surface about total deformation

P1의 값이 줄어드는 것에 비하여 P2의 값이 줄어들 때 가 전체 변형량에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.



[그림 9] 등가응력에 대한 반응 표면
[Fig. 9] Response surface about equivalent stress

그림 9는 Response Surface의 해석 결과로서 Input Parameter와 Output Parameter의 Equivalent Stress에 대한 3 차원 그래프를 나타낸 것이다. P2의 값이 작아짐에 따라 응력이 조금 줄어들다가 높아지는 것을 확인하였다.



[그림 10] 기하학적 질량에 대한 반응 표면
[Fig. 10] Response surface about geometry mass

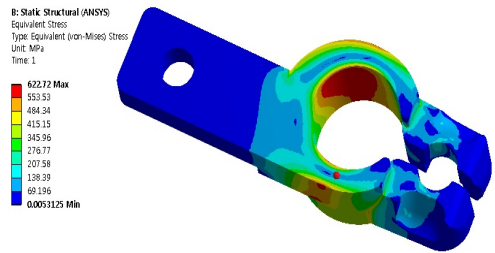
그림 10은 Response Surface의 해석 결과로서 Input Parameter와 Output Parameter의 Geometry Mass에 대한 3 차원 그래프를 나타낸 것이다.

3.2.3 후보 포인트 해석 결과

3.2.3.1 후보 포인트 A 해석 결과

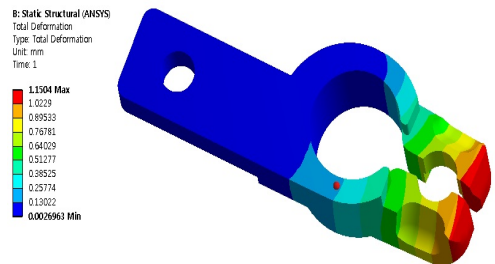
Candidate Designs A의 결과 P1은 11.69mm이고, P2는 12.167mm로 나타났다. 여기에서 얻은 결과 값을 이용하여 해석을 수행한다.

그림 11은 Candidate Designs 결과 값에서 A의 Input Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Equivalent Stress의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 최대값이 약 623MPa로 나타났다.



[그림 11] 후보 포인트 A에서의 등가응력 등고선
[Fig. 11] Contour of equivalent stress at candidate point A

그림 12는 Candidate Designs 결과 값에서 A의 Input Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Total Deformation의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 최대 값이 약 1.15mm로 나타났다.



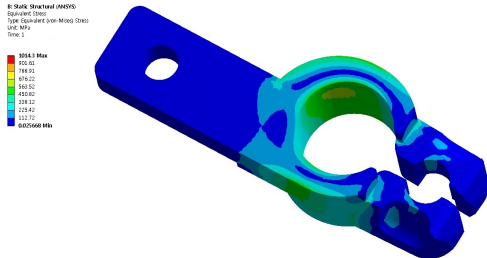
[그림 12] 후보 포인트 A에서의 전변형량 등고선
[Fig. 12] Contour of total deformation at candidate point A

3.2.3.2 후보 포인트 B 해석 결과

Candidate Designs C의 결과 P1은 11.884mm이고, P2는 12.209mm이다.

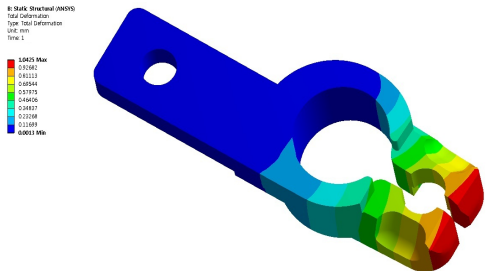
그림 13은 Candidate Designs 결과 값에서 B의 Input

Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Equivalent Stress의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 Maximum값이 약 1014MPa로 나타났다.



[그림 13] 후보 포인트 B에서의 등가응력 등고선
[Fig. 13] Contour of equivalent stress at candidate point B

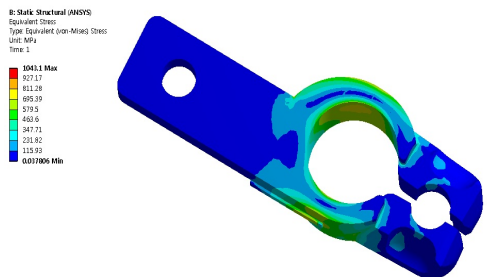
그림 14는 Candidate Designs 결과 값에서 B의 Input Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Total Deformation의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 Maximum값이 약 1.04mm로 나타났다.



[그림 14] 후보 포인트 B에서의 전변형량 등고선
[Fig. 14] Contour of total deformation at candidate point B

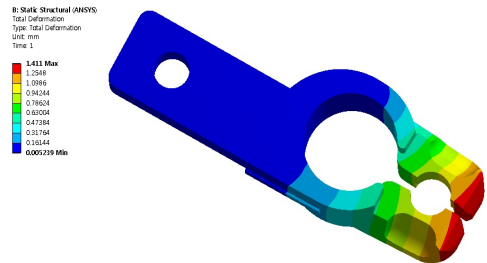
3.2.3.3 후보 포인트 C 해석 결과

Candidate Designs C의 결과 P1은 11.302mm이고, P2는 12.178mm이다.



[그림 15] 후보 포인트 C에서의 등가응력 등고선
[Fig. 15] Contour of equivalent stress at candidate point C

그림 15는 Candidate Designs 결과 값에서 B의 Input Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Equivalent Stress의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 최대값이 약 1043MPa로 나타났다.



[그림 16] 후보 포인트 C에서의 전변형량 등고선
[Fig. 16] Contour of total deformation at candidate point C

그림 16은 Candidate Designs 결과 값에서 C의 Input Parameter를 적용하여 새로이 해석된 결과 중 Total Deformation의 값을 보여주는 그림이다. 해석 결과 최대값이 약 1.41mm로 나타났다.

종합적으로 보면 Candidate point A, B 및 C를 비교하여, Mass의 값의 차이는 많이 나지 않으며, B, C일 때 보다 A일 때 응력값의 변화가 많지 않은 점을 고려하여, Candidate point A가 좋은 것으로 나타났다. 또한 최적화된 설계변수를 적용하여 Candidate point A를 적용하였을 때, 배터리 포스트 클램프의 최대 등가응력은 1.2배 증가되었지만 12% 절감 효과를 가져 올 수 있었다. 따라서 이러한 최적화 값을 부품 제조 현장에서 유용하게 적용할 수 있다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 배터리 포스트 클램프를 설계함에 있어서 최적 설계를 하기 위하여 2개소 부분에 Parameter를 지정하여 시뮬레이션 해석을 시행하였다. 시뮬레이션 해석 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Candidate point의 결과값을 대입하여 구조해석을 수행하였을 때, Geometry Mass의 값은 각각 약 47.4g, 48.6g, 45.6g 으로 나타났다.
2. Candidate point의 결과값을 대입하여 구조해석을 수행하였을 때, 최대 등가응력의 값이 약 531MPa에서 623MPa, 1014MPa, 1043MPa 으로 나타났다.
3. Candidate point A, B 및 C를 비교하여, Mass의 값의

차이는 많이 나지 않으며, B, C일 때 보다 A일 때 응력값의 변화가 많지 않은 점을 고려하여, Candidate point A가 좋은 것으로 나타났다.

4. 최적화된 설계변수를 적용하여 Candidate point A를 적용하였을 때, 배터리 포스트 클램프의 최대 등가 응력은 1.2배 증가 되었지만 12% 절감 효과를 가져올 수 있었다. 따라서 이러한 최적화 값은 배터리 부품 제조 현장에서 유용하게 적용할 수 있다고 사료된다.

References

- [1] Seo, K. K, "Optimal Design of Automatic Transmission Lever using Genetic Algorithms," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 4, No. 3, pp. 242-247, 2003.
- [2] Lee, B. Y, Lee, H. Seo, K. K, "Shape Optimal Design to Minimize the Weight of the pedal Arm of an Automotive Clutch," Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, Vol. 31, No. 2, pp. 269-276, 2007.
- [3] Yang, J. H, "Optimization of the Aluminum Door Impact Beam Considering the Side Door Strength and the Side Impact Capability," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 5, pp. 2025-2030, 2011.
- [4] Han, K. T, Chu, D. R, "Optimal Design of the Forging Processes of Flare Nut for Automobile using Finite Element Analysis," Journal of the Korea Society of Marine Engineers, Vol. 28, No. 1, pp. 83-89, 2004.
- [5] Lee, K. K, Lee, Y. B. Han, S. H, "Robust Optimal Design of Disc Brake Based on Response Surface Model Considering Standard Normal Distribution of Shape Tolerance," Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, Vol. 34, No. 9, pp. 1305-1310, 2010.
- [6] Park, D. K, "Optimum Shape Design of Bumper Beam Section using Intermediate Response Surface Models," Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 1122-1127, 2011.

최 해 규(Hea-Kyu Choi)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

이 희 성(Hee-Sung Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 공주대학교 기계설계공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 공주대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 태성전자 주식회사 연구소 입사 / 재직

<관심분야>

배터리 전류센서, 금형 및 단조, 자기장 해석, 홀 센서

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 1997년 2월 : (주) 삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2010년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

김 춘 식(Choon-sik Kim)

[정회원]



- 1979년 2월 : 인하대학교 건축공학과
- 2006년 8월 : 호서대학교 대학원 정보제어공학과 (공학석사)
- 1994년 6월:경신공업(주) 부사장
- 1985년 7월 ~ 현재 : 태성전장 주식회사 대표이사

<관심분야>

철도 및 자동차 부품, 제조, 와이어하네스, 자동차 센서

조 재 웅(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 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 충돌 시 동적 해석