한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 12권 제 6호 2007년 12월 pp. 466-471

기술논문

피로해석을 통한 자동변속기 브라켈 필렛부에 관한 설계연구

정 재 웅*

A Design Study on Fillet Area of Bracket for an Automatic Transmission through Fatigue Analysis

Jaeung Chung*

ABSTRACT

Brackets for an automatic transmission are usually used to connect the transmission with adjacent components in a vehicle. Fillet areas of brackets are one of the most important areas to design the brackets because the areas are easily fractured when the brackets are subjected to external loads. In this study, a new design around the fillet area of the bracket is suggested and improved effects of the proposed design are proved through the comparison of safety factors with the current design. The safety factors are calculated through the fatigue analysis via a commercial code, FEMFAT.

Key words : Bracket, Automatic Transmission, Safety Factor, Fatigue Analysis, Fillet Area, Design

1. 서 론

자동차의 자동변속기용 브라켈은 자동변속기와 그것에 인접한 부품들을 연결할 때 쓰이는 부품이다. 이러한 브라켈은 변속기에서 발생하는 진동을 차체에 전달하는 동시에 자동차 주행 중에 노면으로부터 바퀴를 통해 전달되는 여러 가지 하중들을 반복적으로 받는 부품이다. 브라켈에 가해지는 이러한 반복하중은 그 부품의 피로파손을 발생하게 한다[1]. 자동차에 적용되는 여러 가지 브라켈들을 보다 효율적으로 설계하기 위해, 해석기법을 이용한 연구들이 수행되어 왔다. 자동차용 엔진 마운트 브라켈의 진동해석과 피로해석을 통해 브라켈의 저주파와 고주파에서의 내구수명을 동시에 개선할 수 있는 설계변경부위가 규명되었고[2], 진동내구 시험에 대한 엔진 부품 브라켈의 피로수명 해석을 통해 브라켈의 피로내구수명 예측 및 검증작업이 수행되었다[3]. 또한, 마운팅 브라켈의 경량화된 설계 안을 도출하기 위해 해석을 이용한 최적화 기법이 적용되었다[4,5]. 그리고, 자동차의 내부소음을 감소시키기 위한 변속기 마운트 브라켈의 설계기준이 해석적으로 제시되었으며[6] 엔진 프론트 커버와 엔진 마운트 브라켈을 조합한 유한요소모델을 이용하여 외부하중에 의한 피로해석이 수행되었다[7].

브라켈 피로파손관련, 브라켈 필렛부는 외부에서 가해지는 반복하중들에 의한 응력집중으로 인해 파손이 가장 많이 발생하는 부위들 중 하나로써, 브라켈 설계에 있어서 가장 주의해야 할 부위들 중 하나이다. 일반적으로 브라켈 필렛부 파손방지를 위해 필렛부 주위의 판 두께를 증가시키거나 필렛부 반경을 크게 하는 설계변경이 이루어진다. 하지만 이러한 일반적인 개선은 브라켈의 설계변경에 의한 추가적 공간확보를 요구하며 또한, 파손방지를 위한 그 개선효과는 크지 않다. 또한, 내부공간확보가 어려운 경우, 파손방지를 위한 개선에 있어서 한계가 있을 수 밖에 없다. 특히, 자동차에 쓰이는 브라켈들은 파손방지를 위한 내부공간을 보다 많이 확보하기란 부적 힘든 경우가 많다.

본 논문에서는 자동차의 자동변속기에 쓰이는 브라켈의 필렛부를 앞에서 언급한 개선방안들 외의 파손방지를 위한 추가적 내부공간확보가 필요 없는 새로운 설계 안을 제시하고 그 개선효과를 피로해석을 통해 검증하고자 한다.

*정회원, 경원대학교 기계자동차공학과
- 논문투고일: 2007. 08. 29
- 심사완료일: 2007. 11. 05

2. 유한요소해석

2.1 Real Roll Mounting 브라켓

앞에서 언급한 바와 같이, 본 논문에서는 브라켓 필렛부의 연구를 위해, 현대자동차(주)의 자동변속기에 적용되고 있는 여러 가지 브라켓들중 하나인 Real Roll Mounting 브라켓이 사용된다.

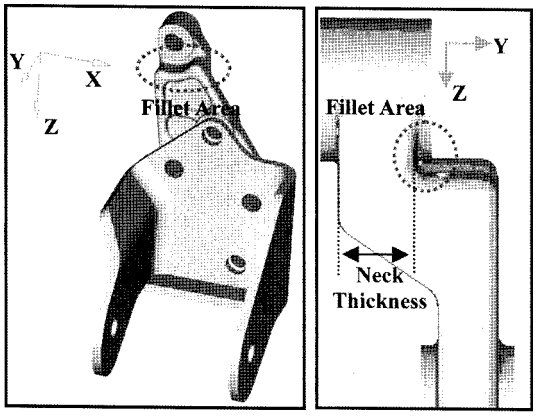


Fig. 1. Current bracket.

이 Real Roll Mounting 브라켓은 2개의 구성 품들 즉, 어댑터, 브라켓으로 이루어져 있고, 자동변속기 하우징에 볼트체결에 의해 부착된다. Real Roll Mounting 브라켓을 형성하는 2개의 구성 품들은 볼트체결에 의해 서로 연결된다.

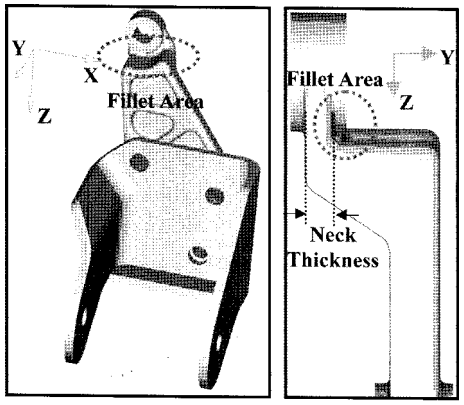


Fig. 2. Proposed bracket.

Fig. 1은 일반적으로 설계된 브라켓 모델을 보시한 것이고, Fig. 2는 본 논문에서 제안된 브라켓 모델을 나타낸 것이다. Fig. 1와 Fig. 2에서, 점선으로 표시된 부위는 필렛부를 나타내고 화살표로 표시된 부분은 폭 두께를 나타낸다.

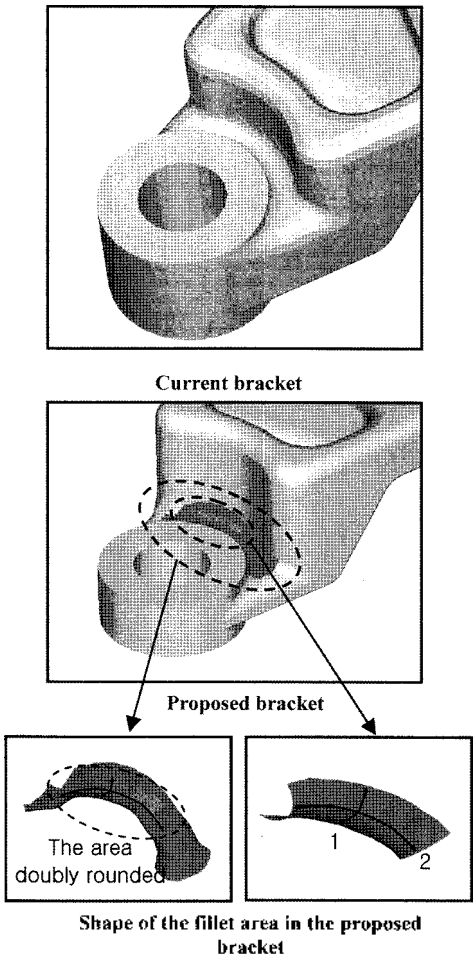


Fig. 3. Difference between the current bracket and the proposed bracket.

일반적으로 설계된 브라켓(Fig. 1)의 경우, 필렛부의 반경은 2 mm이고 필렛부 주위의 폭 두께는 14 mm 이다. 제안된 브라켓(Fig. 2)의 경우, 필렛부의 반경은 2 mm이고 필렛부 주위의 폭 두께는 6 mm이다. 일반적으로 설계된 브라켓은 볼트장착 부 주위로 필렛부가 동일하게 적용되는 반면, 제안된 브라켓은 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 가운데부위에 이중으로 라운드를 부여하였다(화살표로 표시). Fig. 3에 표시된 1번 화살표 라운드 부위는 오목한 형태로 적용되었고, 2번 화살표 라운드 부위는 볼록한 형태로 적용되었다. 또한, Fig. 3에서 화살표로 표시된 부위는 이중 라운드가 적용된 범위를 나타낸다. 이중 라운드의 최대높이는 볼트가 체결되는 부위보다 0.714 mm 낮은 위치에 존재하게 하여 볼록한 형태가 체결되는 볼트와 간섭되지 않도록 설계되었다.

2.2 해석모델

유한요소모델은 설계도면을 바탕으로 HYPERMESH를 이용하여 구성하였으며, 강도해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수행되었다[8]. 해석에는 사면체 요소(C3D10M, 10 noded modified tetrahedron)를 사용하였다. Fig. 4는 제안된 브라켈의 유한요소모델을 도시하고 있다. 일반적으로 설계된 브라켈 유한요소모델은 351,220개의 절점과 220,007개의 요소 수를 가지고, 제안된 브라켈의 유한요소모델은 328,356개의 절점과 204,386개의 요소 수를 가진다. 또한, 브라켈 유한요소 모델에서 필렛부와 같은 곡률 부는 유한요소 수에 민감하게 반응하지 않는 요소 수를 적용하였다(Feature Angle=22.5° 적용). Fig. 4에서 보는 바와 같이, 유한요소모델은 어댑터, 브라켈, 볼트 그리고 샤프트로 이루어져 있다. 브라켈와 샤프트의 접촉부위에는 Contact Element가 사용되었다. 또한, 샤프트에 작용하게 되는 외부하중을 모델링하기 위해 하중작용부위를 MPC Beam으로 연결했다.

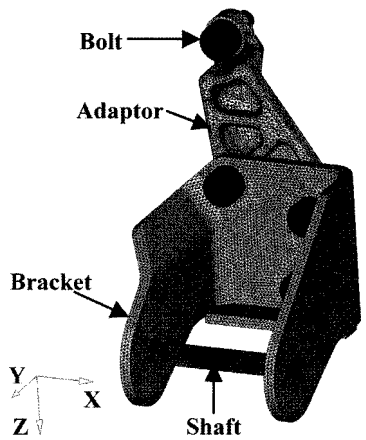


Fig. 4. The finite element model for the proposed bracket.

2.3 해석조건

강도해석을 수행하기 위한 경계조건은 Fig. 5에 보이는 바와 같이 변속기 하우징에 접촉하는 브라켈의 부위를 모든 방향의 변위를 구속하였다. 브라켈에 주어지는 하중들은 볼트 체결력과 작용하중으로 이루어져 있다. 볼트 체결력의 경우, 볼트가 체결되는 부위에 따라서 다른 방법으로 적용되었다. 변속기 하우징에 체결되는 볼트의 경우, 체결력을 압력형태로 적용했고, 브라켈와 어댑터를 체결하는 볼트의 경우에는 pretension의 형태로 체결력을 적용하였다.

작용 하중의 경우, 샤프트의 하중작용부위에 설치된 MPC Beam의 중심점에 시험하중조건인 ±800 Kgf이 각각 2개의 다른 가진 방향(Fig. 5의 Y 방향과 Z 방향)으로 부여되었다. 샤프트에 작용하는 X 방향 하중은 Fig. 4에서 보이는 바와 같이, 브라켈의 구멍 깊이 방향으로 작용하는 하중이므로 그 하중은 브라켈에 작용하지 않기 때문에 고려하지 않는다. Table 1은 해석에서 고려한 재료의 물성 치를 나타내고 있다.

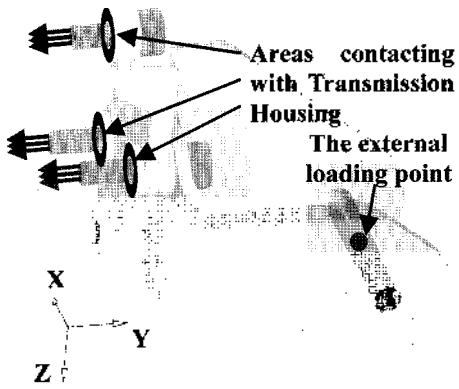


Fig. 5. Boundary conditions and loading conditions.

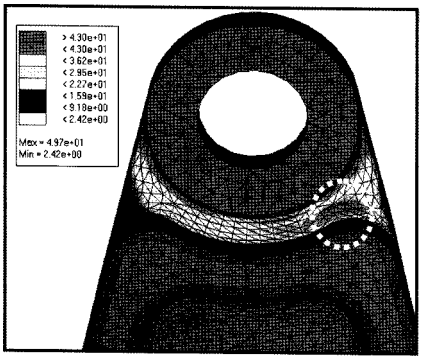
Table 1. Material properties of the real roll mounting bracket

	Adaptor	Bracket	Shaft	Bolt
Young's modulus (GPa)	160	207	210	210
Poisson's ratio	0.27	0.29	0.29	0.29
Yield strength (MPa)	500	266	780	500
Tensile strength (MPa)	700	410	980	750
Fracture strength (MPa)	250	196	390	250

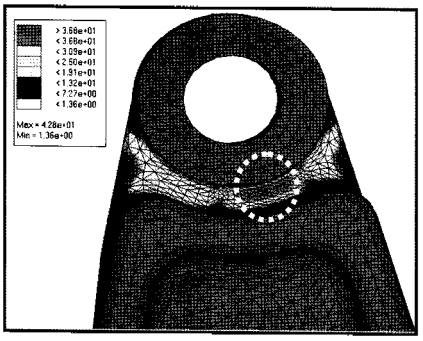
2.4 피로해석절차

Real Roll Mounting 브라켈의 피로해석은 Y 방향 가진과 Z 방향 가진에 대해 범용 피로해석 프로그램인 FEMFAT을 이용하여 각각 수행되었다[9]. Y 방향 가진에 대한 피로해석을 위해 양의 Y 방향으로 800 Kgf 하중이 브라켈에 가해졌을 경우와 음의 Y 방향으로 800 Kgf 하중이 가해졌을 경우의 2가지 강도해석들이 ABAQUS를 이용하여 각각 수행되었다. 이 2가지 강도해석결과들을 FEMFAT에 부여하여 외부하중이 Y 방향으로 +800 Kgf부터 −800 Kgf까지 변화되어 반복적으로 주어질 경우의 안전계수를 계산하였다. 또한, Z 방향 가진에 대한 브라켈의 안전계수가

Y방향 가진에 대한 피로해석과 같은 절차를 이용하여 계산되었다.



Current bracket



Proposed bracket

Fig. 6. Distribution of Von Mises Stresses around fillet areas of the current bracket and the proposed bracket subjected to negative Y-direction loading.

3. 해석결과

3.1 강도해석

Fig. 6은 음의 Y 방향으로 하중이 작용할 때의 일반적으로 설계된 브라켓와 제안된 브라켓의 필렛부의 Von Mises 응력들의 분포를 나타내고 있다.

Fig. 6에서 점선으로 표시된 부분은 최대응력 발생 부위를 나타낸다. Table 2는 하중방향에 따른, 일반적으로 설계된 브라켓와 제안된 브라켓의 필렛부의 최대 Von Mises 응력들의 값을 나타내고 있다. 일반적으로 설계된 브라켓 대비 제안된 브라켓 필렛부의 최대응력 값들은 낮은 수준을 나타낸다. 따라서, 강도측면에서 볼 때, 제안된 브라켓은 일반적으로 설계된 브라켓보다 내구성이 우세하다고 볼 수 있다. 또한, 하중방향이 Z 방향일 경우가 Y 방향일 경우보다 브라켓 필렛부에 발생하는 최대응력이 크다.

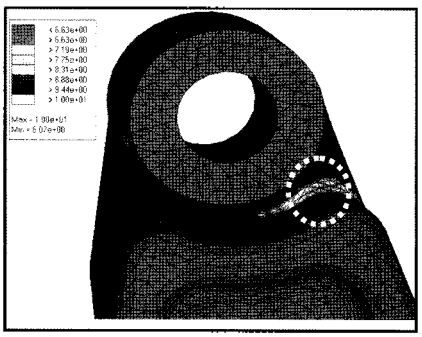
이것은 일반적으로 설계된 브라켓와 제안된 브라켓 모두 Y 방향 하중보다 Z 방향 하중에 보다 더 취약하다는 것을 의미한다.

Table 2. Maximum Von Mises stresses around fillet areas of the current bracket and the proposed bracket (MPa)

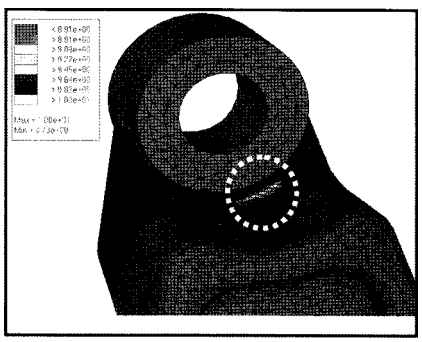
	Maximum Stress	
Loading direction	Current bracket	Proposed bracket
−Y	55.6	52.7
-Y	49.7	42.8
+Z	91.9	76.6
-Z	101.0	89.2

3.2 피로해석을 통한 안전계수비교

브라켓 부한수명관련 안전계수를 계산하기 위해, 유한요소모델을 이루고 있는 각 절점들에 대한 모든 방향의 응력 값들이 FEMFAT에 입력된다. 또한, 안전계수를 계산하기 위해, 응력 비에 대한 영향을 고려하였고, 피로해석에 사용된 응력은 critical cutting plane의 등가응력(equivalent stress)이다. Fig. 7와 Fig. 8은

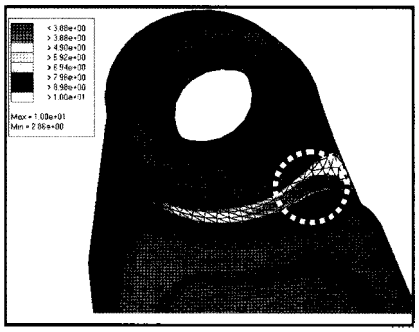


Current bracket

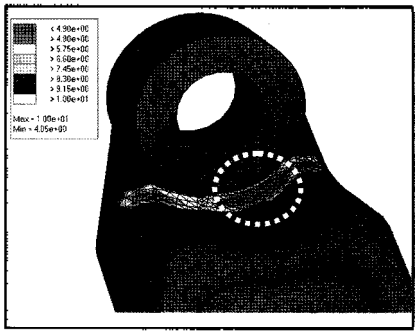


Proposed bracket

Fig. 7. Distribution of safety factors around fillet areas of the current bracket and the proposed bracket subjected to Y-direction loading.



Current bracket



Proposed bracket

Fig. 8. Distribution of safety factors around fillet areas of the current bracket and the proposed bracket subjected to Z-direction loading.

Real Roll Mounting 브라켓 관련 일반적으로 설계된 브라켓 필렛부위와 본 논문에서 제안된 브라켓 필렛부위의 Y 방향 가진 및 Z 방향 가진에 대한 안전계수 분포를 각각 나타내고 있다. Fig. 7와 Fig. 8에서 점선으로 표시된 부분은 최소안전계수 발생부위를 나타낸다.

Table 3은 Y 방향 가진과 Z 방향 가진에 대한 브라켓 필렛부의 최소안전계수 값들을 나타내고 있다.

피로해석 결과, 일반적으로 설계된 브라켓의 안전계수는 Y 방향 가진 대비 Z 방향 가진이 작용할 경우에 약 29% 감소하고, 제안된 브라켓은 약 30% 감소한다(Table 3 참조). 따라서, 일반적으로 설계된 브라켓와 제안된 브라켓 모두 Y 방향 가진보다 Z 방향 가진에 보다 더 취약하다. 일반적으로 두께치수를 제외한 나머지 필렛부 주위의 치수들을 똑같이 설계할 경우, 두께가 작은 브라켓이 두께가 크게 설계된 브라켓보다 외부하중들에 대한 파손이 보다 쉽게 발생한다. 앞에서 언급한 바와 같이, 제안된 브라켓 필렛부의 목 두께는 6 mm이고 일반적으로 설계된 브라켓 필렛부의 목 두께는 14 mm이다. 일반적으로 설계된 브라켓 대비 약 57% 감소한 목 두께를 가지는 제안된 브라켓이 내구성 측면에서 불리하다고 판단되기 쉽다.

Table 3. Minimum safety factors around fillet areas of the current bracket and the proposed bracket

	Safety factor	
Loading direction	Current bracket	Proposed bracket
Y	6.1	8.7
Z	2.9	4.1

하지만, Table 3에서 보이는 바와 같이, 제안된 브라켓은 일반적으로 설계된 브라켓에 비해 필렛부 주위의 목 두께가 약 57% 감소함에도 불구하고 필렛부 주위의 안전계수는 Y 방향 가진에 대해 일반적인 브라켓 대비 약 43% 증가하고 Z 방향 가진에 대해서는 약 38% 증가한다. 따라서, 필렛부 목 두께의 감소함에도 불구하고 이러한 브라켓의 안전계수상승에 의한 내구성 향상의 효과는 필렛부 중심부위에 이중 라운드를 부여한 형상형성에서 기인한다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 자동차 자동변속기 브라켓의 필렛부를 연구하기 위해 유한요소모델을 이용하여 3차원 강도해석 및 피로해석을 수행하였다. 일반적으로 설계된 브라켓 필렛부와 제안된 브라켓 필렛부의 피로해석을 통한 안전계수를 비교하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 본 논문에서 제안한 필렛부 중심부위에 이중 라운드를 부여한 형상은 필렛부 목 두께가 약 57% 감소함에도 불구하고 안전계수측면에서 볼 때 브라켓의 내구성은 최소 약 38% 증가한다.

(2) 브라켓 필렛부가 파손된 경우, 일반적으로 필렛부 주위의 두께증가 또는 필렛부 반경증가 등을 통하여 파손방지를 위한 내구성 향상효과를 얻을 수 있다. 하지만, 이와 같은 방안들은 설계변경에 따른 추가적 공간 확보가 필요하게 되는 단점이 있다. 본 논문에서 제안한 설계형상을 적용하면 추가적 공간확보 필요 없이 파손방지를 위한 내구성 향상 효과를 얻을 수 있다.

(3) 본 논문에서 제시한 브라켓 필렛부 형상은 브라켓뿐만 아니라 필렛부가 있는 어떤 기계 및 건축 구조물들의 내구성 향상의 방안으로 적용 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 2007년도 강원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

1. Bannatine, J. A., Comer, J. J. and Handrock, J. L., "Fundamentals of Metal Fatigue Analysis", *Prentice Hall*, 1990.
2. 김한희, 윤성호, "엔진 마운트 브라켓의 진동 특성과 피로파괴 해석", 한국자동차공학회, 추계학술대회논문집, pp. 1226-1232, 2003.
3. 김남규, 최원식, 백승국, "진동내구 시험에 대한 엔진부품 브라켓의 피로수명 해석", 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 925-930, 2005.
4. 상홍석, "마운팅 브라켓 최적설계를 위한 해석적 기법 연구", 한국자동차공학회, 추계학술대회논문집, pp. 1616-1622, 2005.
5. 이호도, 김종명, 오승찬, 조원석, "용탕단조공법을 이용한 알루미늄 엔진마운팅 브래킷의 개발", 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 756-761, 1998.
6. Alzahari, B., Simon, S. C. and Natarajan, L. K., "Optimization of Transmission Mount Bracket", *SAE*, 2003-01-1460, 2003.
7. Kim, H. H. and Yoon, S. H., "Fatigue Life Prediction of Engine Front Cover in Pre-proto Development Phase", *The 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering*, Gyeongju, Korea, pp. 921-926, August 22-24, 2005.
8. "ABAQUS User's Manual", *ABAQUS Inc.*, 2006.
9. "FEMFAT User's Manual", *ATES*, 2005.

정 재 웅

1987년 성균관대학교 기계설계학과 학사
1997년 The Univ. of Michigan 항공공학 석사
2000년 The Univ. of Michigan 항공공학 박사
2001~2002년 The Univ. of Michigan Research Fellow
2003~2006년 현대·기아자동차연구개발본부 선임연구원
2006년~현재 강원대학교기계자동차공학과 전임강사
관심분야: Numerical Analysis and Experiments for Mechanical and Aerospace structures, 복합재료 및 빌집구조체 거동 특성