

경량 알루미늄 허니콤 판재의 제작 및 특성 평가

김기주
동명대학교 메카트로닉스공학과

Fabrication and Characterization of Aluminum Honeycomb Panel

Kee Joo Kim

Department of Mechatronics Engineering, Tongmyung University

요약 허니콤 판재(honeycomb panel)는 벌집 모양의 코어(core) 양쪽면에 표면판재를 부착시켜 만든 판재이다. 허니콤 판재는 비강도가 뛰어나며, 재료에 압축하중이 가해졌을 때 재료가 수차례의 좌굴을 반복하기 때문에 에너지 흡수성이 우수하여 내충격성이 요구되는 부위에 사용하기에 적합하다. 특히 최근에는 수송기기의 경량화에 대한 요구가 증가함에 따라 알루미늄 허니콤 판재를 자동차 및 고속전철 등의 차체 재료로 이용하려는 연구가 진행되고 있다. 이 밖에도 허니콤 판재는 흡음성과 평활성이 우수하며, 단열성과 내피로성도 우수하다. 연료 경제성을 증가시키기 위하여 알루미늄 합금 소재와 같은 경량 소재를 허니콤 판재 주 재료로 사용하여 무게를 감량시키는 것에 관한 연구를 진행 하였다.본 연구에서는 허니콤 판재의 설계기술, 알루미늄 허니콤 코어 및 허니콤 판재 제조 기술에 대한 연구를 수행하였으며, 또한 제조된 허니콤 판재의 각종 기계적 특성평가를 행하여 그 결과를 바탕으로 알루미늄 허니콤 판재의 제조 공정 설계, 판재 제작 및 특성 평가방안을 마련 하였다. 연구결과 허니콤 판재의 우수한 에너지 흡수성은 코어 버클링의 반복에 기인하며 압축강도가 높을수록 접합면적당 강도 또한 높은 값을 나타내었다.

Abstract A honeycomb panel is a plate made by attaching two surface plates on either side of a honeycomb core. The honeycomb plate has excellent specific strength and energy absorption and is suitable for use in regions where good impact resistance is required. Recently, with the increasing need for a lightweight design to facilitate transportation, numerous studies have been conducted using aluminum honeycomb plates as body materials for vehicles such as automobiles and high-speed trains. In addition, honeycomb plates have excellent sound deadening properties, as well as excellent heat insulation and durability. Savings in weight using lightweight materials such as aluminum alloy for honeycomb panel's skin can lead to increase fuel economy and reduction in air pollution. In this study, in order to improve the design technology of the honeycomb plate material, the manufacturing technology of the aluminum honeycomb core and honeycomb plate material and various mechanical properties of the honeycomb plate were evaluated. From the results, it was found that the design of the manufacturing process of the aluminum honeycomb plate, as well as its production and characteristics, were improved. The resulting excellent energy absorption capability of the honeycomb plate was due to the repetitive core buckling, indicating that the higher the compressive strength, the higher the strength per bonded area.

Keywords : Light-Weight, Aluminum, Honeycomb, Characterization, Fabrication

1. 서론

허니콤 판재는 벌집모양의 코어(core) 양쪽 면에 표면

판재(face sheet)를 부착시켜 샌드위치 구조(sandwich panel)를 이루게 한 재료를 말한다. 이러한 샌드위치 구조는 비강도가 뛰어나며, 코어의 특성상 압축하중에 대

*Corresponding Author : Kee Joo Kim(Tongmyung Univ.)

Tel: +82-51-629-1545 email: kjkim@tu.ac.kr

Received September 18, 2017

Revised September 21, 2017

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

한 에너지 흡수성이 매우 우수하여 내충격성이 요구되는 구조용 재료의 적용에 적합하다. 이 밖에도 허니콤 판재는 흡음성과 평활성이 우수하며, 단열성과 내피로성도 우수하다. 허니콤 판재는 언급한 바와 같이 우수한 기계적 특성으로 인하여 우주항공 분야에서 항공기 날개, 동체, 헬리콥터의 로터 블레이드, 인공위성 몸체 등에 사용되어 왔다. 최근에 이르러 허니콤 판재의 응용 분야는 더욱 확대되어 자동차용 내·외판, 스포츠카, 전기자동차, 철도 차량의 출입문, 선박의 격막 등과 같은 수송기기 분야 뿐 아니라, 건축용 내·외장재, 전자통신기기, 스포츠용품 등에 다양하게 확대되고 있다. 특히 최근에는 수송기기의 경량화에 대한 요구가 증가함에 따라 알루미늄 허니콤 판재를 자동차 및 고속전철 등의 차체 재료로 이용하려는 연구가 진행되고 있다[1-5].

본 연구에서는 알루미늄 허니콤 판재의 자동차용 판재로의 상용화 가능성을 검토하기 위하여 허니콤 판재의 설계기술, 알루미늄 허니콤 코어 및 허니콤 판재 제조 기술에 대한 연구를 수행하였으며, 또한 제조된 허니콤 판재의 각종 기계적 특성평가를 행하여 그 결과를 바탕으로 알루미늄 허니콤 판재의 제조 공정 설계, 판재 제작 및 설계방안을 마련하고자 한다.

2. 실험방법

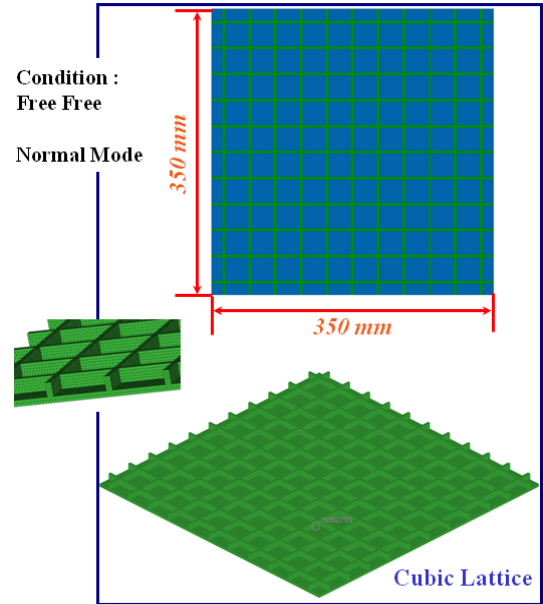
2.1 예비해석

허니콤 판재의 형상을 결정하기 위하여 Fig. 1에 나타난 격자 모양으로 Nastran 프로그램을 이용하여 동적해석을 실시하였다. 해석조건은 노말모드(natural frequency; free-free 하중) 조건으로 가로 세로 350 mm 크기로 사격격자와 6각형 격자를 모델링하여 3개의 모드에 대해 실시하였다.

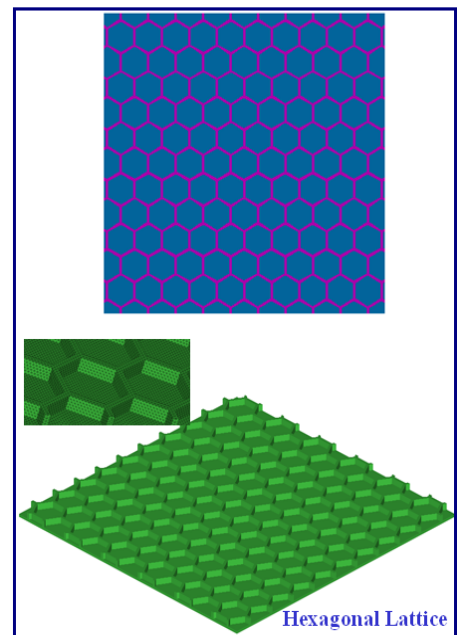
2.2 알루미늄 허니콤 판재의 접합 및 제조

허니콤 판재의 코어는 SK(주)에서 제작된 SKAH 제품 사용하였으며 코어와 표면판재의 접합은 접착제를 사용하여 접합한 것을 브레이징 접합법으로 제작한 허니콤 판재와 비교하였다. 접착에 사용된 접착제는 에폭시(epoxy) 계이다. Fig. 2에 알루미늄 허니콤 판재 구조를 나타내었으며 Fig. 3에 알루미늄 허니콤 판재를 구성하는 접합하는 장치를 나타내었다. 그림에 나타나듯이 오

일펄프에서 생성된 다이 압력을 허니콤 판재에 가하며 적절한 가열장치와 병행하여 접합을 실시하였다. 그림의 장치를 활용하면 우수한 접합력을 얻을 수 있었다.



(a) cubic lattice



(b) Hexagonal lattice

Fig. 1. Simulation model for normal mode analysis.

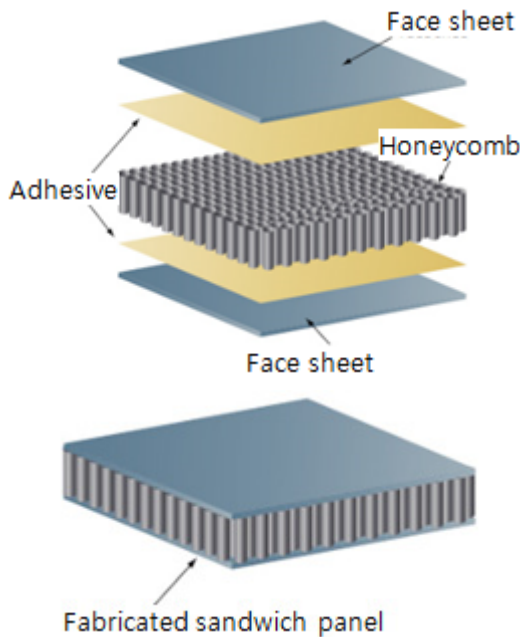


Fig. 2. Honeycomb structure

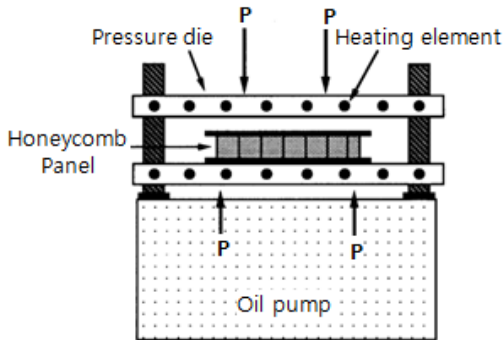


Fig. 3. Schematic diagram of fabrication equipment.

판재 제조를 위한 코어의 셀크기는 3.18 mm, 4.76 mm, 6.00 mm의 3가지를 본 연구에서 접착제를 사용하여 제작하여, 브레이징 방법으로 접합한 셀크기 8.66 mm 허니콤 판재와 비교하였다. 코어에 사용된 재료는 5052 알루미늄 합금으로 두께가 0.0254 mm, 높이가 10 mm이었다. 허니콤 판재의 표면판재는 접착제법과 브레이징법을 사용하여 접합하였는데 이 접착제법은 브레이징법에 비하여 제조 비용이 저렴하고 제조공정이 간단한 장점이 있으나 접착력은 브레이징법이 우수하다. 접착제법에 사용한 접착제는 미국 Advanced Structure Co.에서 생산된 필름타입 접착제를 사용하였다.

허니콤 판재는 표면판재의 표면을 아세톤으로 세척하여 코어, 필름 접착제, 표면판재 재료를 차례로 적층한 다음 가압기에 장입한 후 250°C에서 압력을 가하여 분위기 생성을 위하여 30분간 유지 시킨 후 충분한 접합시간을 부여 후 접합을 완성하였다. 사용한 압력은 코어가 변형되지 않는 범위 내에서 최대의 접착력을 얻을 수 있도록 본 실험에서는 0.2 MPa를 가하였다.

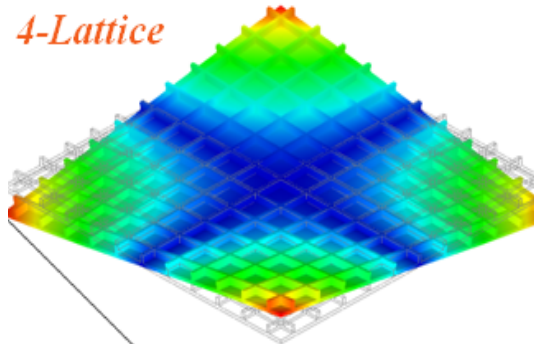
2.3 압축시험 및 인장시험

코어의 압축강도를 측정하기 위해 Instron 시험기를 사용하여 압축시험을 실시하였다. 시편의 단면적은 25×25 mm², 코어의 두께는 10 mm, 표면판재는 두께가 상부 판재 하부판재 각각 1.2 mm이었다. 시편의 종류는 코어의 셀크기에 따라 3.18, 4.76, 6.00, 8.66 mm이고, 압축 시 변형속도는 0.03 /min. 이었다. 시험의 정확도를 높이기 위하여 시편의 그림이 닿는 부분은 표면을 매끄럽게 폴리싱하여 준비하였다. 각 시편은 표준편차를 감안하여 동일조건 당 5개씩 실험하여 분석에 활용하였다.

코어와 표면판재 사이의 접착강도 및 코어의 인장강도를 측정하기 위해 인장시험을 실시하였다. 시편의 단면적은 50×50 mm² 이고 높이는 압축시편과 동일하였다. 시편의 종류는 압축시험의 경우와 동일하고 변형속도는 역시 0.03 /min. 로 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

RESULT #: 1 (137.8251 HZ) - EIGEN VECTOR
DISPLACE: DISP MAX=1.481064, MIN=9.285E-5
TRANS MAG: DISP MAX=1.481064, MIN=9.285E-5



Mode 1: Torsion Mode (137.8 Hz)

(a) Simulation results of 4-lattice

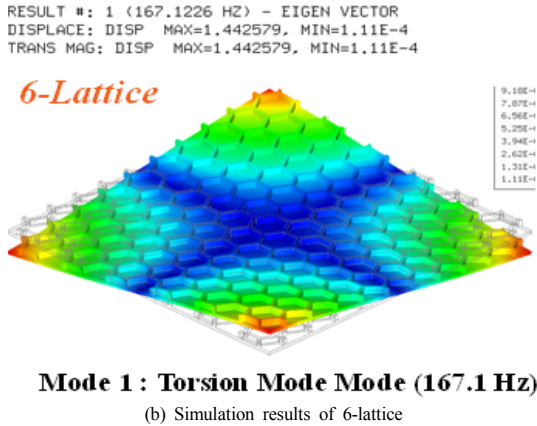


Fig. 4. Results of normal mode analysis (4 & 6).

Table 1. Comparison of modal value btw. 4 & 6.

| Lattice | Shape | Mode 1 | Mode 2 | Mode 3 | Weight |
|---------|-------|---------|---------|---------|----------|
| 4 | | 137.8Hz | 366.6Hz | 392.7Hz | 3.68 kg |
| 6 | | 167.1Hz | 251.6Hz | 358.4Hz | 03.62 kg |

Fig. 4에 사각격자 및 육각격자 허니콤 판재의 노말모드 해석결과를 나타내었다. 육각격자의 경우 Mode 1에서 Torsion Mode를 나타내었으며 167.1Hz를 나타낸 반면 사각격자는 137.8 Hz이므로 육각격자가 사각격자보다 비틀림 모드에서 보다 약 21% 동적강성이 우수한 것으로 나타났으며(Table 1 참조) 이를 기반으로 알루미늄 허니콤 판재는 육각격자를 코어재료로 선택하였다.

Fig. 5에 본 연구에서 접합하여 제작한 허니콤 판재(셀크기 4.76 mm)를 나타내었다. 그림에 나타나듯이 허니콤 판재의 코어는 벌집모양의 형태를 나타내었다.

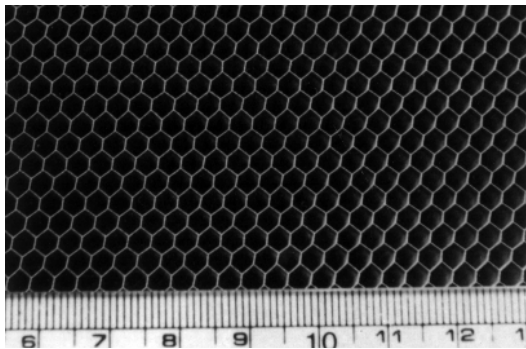


Fig. 5. Honeycomb pane with 4.76 mm lattice cell.

Fig. 6에 알루미늄 허니콤 판재의 압축시험 결과를 응력-변형을 곡선으로 나타내었다. 1차 버클링이 일어날 때까지 강도가 선형적으로 증가하여 최대 압축강도가 나타났다. 여기서 정의하는 압축강도란 이 최대 압축강도가 나타나는 지점을 뜻한다. 이 후 1차 버클링이 완료되는 시점까지 강도가 지속적으로 감소하여 1차 극소 압축강도를 나타내게 된다. 1차 버클링이 완료되는 시점이란 버클링으로 인하여 생긴 국부 굽힘 변형부의 변형이 진행되면서 위와 하단부가 밀착되어 2차 버클링이 야기되는 때를 의미한다. 1차 버클링이 변형이 완료되면서 다시 강도의 증가가 시작되는데, 이 현상은 2차 버클링이 발생할 때까지 계속되어 극대값을 지니게 된다. 이러한 과정이 수차례 반복되면서 강도의 증감이 계속된다. 결국, 코어재료가 양 표면판재 사이에 완전히 밀착되어 버클링이 완료되면 압축강도가 계속 증가하게 된다. 이상의 결과로부터 알루미늄 허니콤 판재가 우수한 충격에너지 흡수력을 가지는 이유는 압축시험 결과에서처럼 코어에서 반복되는 무수한 버클링 과정 때문인 것을 알 수 있으며 이로부터 인성 또한 증가하게 된다. 이를 Table 2에 정리하여 나타내었다. 접합면적당 강도가 가장 높은 것은 셀 크기가 가장 조밀한 AT-1번 시편인 것을 확인할 수 있다. 또한 셀 크기가 커질수록 압축강도가 작아지는 경향을 나타내었다. 압축강도는 접착제를 사용하여 셀 크기가 3.18 mm인 경우 가장 높은 값인 4.91 MPa를 나타내었으며 브레이징 접합재보다도 높은 강도를 나타내었다.

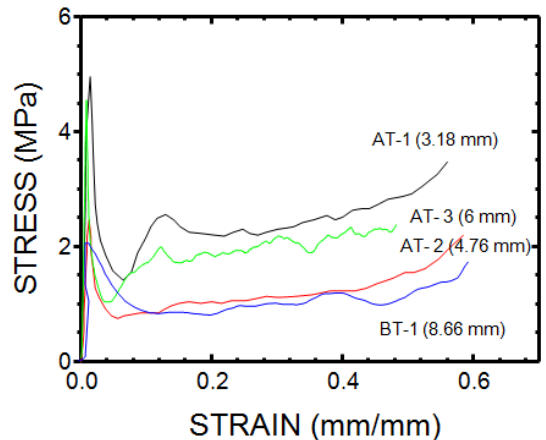


Fig. 6. Stress-strain curve after compression test.

Table 2. Results summary after compression test.

| Specimens | AT-1 | AT-2 | AT-3 | BT-1 |
|---------------------------------|-------|------|-------|-----------|
| Adhesive Method | Glue | Glue | Glue | Brazing |
| Al Alloys | 5052 | 5052 | 3003 | 3003/4045 |
| Cell Size (mm) | 3.18 | 4.76 | 6.00 | 8.66 |
| Core Thickness(μm) | 50 | 50 | 100 | 100 |
| Compressive Strength (MPa) | 4.91 | 2.51 | 4.55 | 2.19 |
| Strength/Adhesive Area (MPa) | 118.2 | 87.7 | 102.0 | 71.0 |

Fig. 7에 알루미늄 허니콤 판재의 인장시험 결과를 응력-변형률 곡선으로 나타내었다. 앞서 압축시험에서 충격흡수 에너지가 변형이 계속될 동안 축적되는 양상을 나타내는 것과 대별되게 10%의 변형률 내에서 인장 파괴가 일어나는 것을 알 수 있다. 이로부터 알루미늄 허니콤 판재의 경우 주로 인장하중을 받는 제품에 적용하는 것 보다는 충격이나 압축하중을 받는 제품에 적용하는 것이 그 장점을 극대화 시킬 수 있을 것으로 판단된다. Table 3에 인장시험 결과를 정리하여 나타내었으며 인장시험 결과를 고찰하기 위해서 단위접합면적당 강도로도 표기하였다. 표에서 알 수 있듯이 인장강도의 경우는 압축강도와는 대별되게 브레이징 접합법으로 제작한 BT-1이 가장 높은 값을 나타내었으며 단위 접합면적당 강도 역시 높은 값을 나타내었다. 이로부터 인장하중을 주로 받는 부재에 알루미늄 허니콤 판재를 적용할 경우 접착제를 사용하여 제작하는 것보다는 브레이징 방법을 사용하여 제작하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

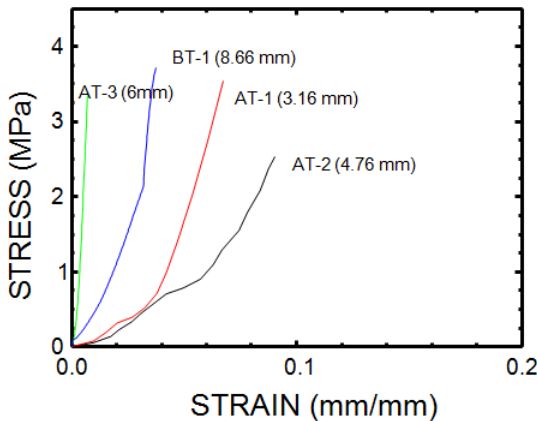


Fig. 7. Stress-strain curve after tensile test.

Table 3. Results summary after tensile test.

| Specimens | AT-1 | AT-2 | AT-3 | BT-1 |
|---------------------------------|------|------|------|-----------|
| Adhesive Method | Glue | Glue | Glue | Brazing |
| Al Alloys | 5052 | 5052 | 3003 | 3003/4045 |
| Cell Size (mm) | 3.18 | 4.76 | 6.00 | 8.66 |
| Core Thickness(μm) | 50 | 50 | 100 | 100 |
| Tensile Strength (MPa) | 3.54 | 2.53 | 3.34 | 3.68 |
| Strength/Adhesive Area (MPa) | 84.5 | 90.3 | 75.0 | >119 |

4. 결론

알루미늄 합금으로 허니콤 판재를 제조하여 격자에 관한 시뮬레이션 및 압축 및 인장시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동적강성 해석 결과 육각격자가 사각격자보다 비틀림 모드에서 보다 21% 동적강성이 우수한 것으로 나타났으며 이를 기반으로 알루미늄 허니콤 판재는 육각격자를 코어재료로 선택하였다.
- 2) 압축강도는 접착제를 사용하여 셀 크기가 3.18 mm인 경우 가장 높은 값인 4.91 MPa를 나타내었으며 브레이징 접합재보다도 높은 강도를 나타내었다.
- 3) 허니콤 판재의 우수한 에너지 흡수성은 코어 버클링의 반복에 기인하며 압축강도가 높을수록 접합면적당강도 또한 높은 값을 나타내었다.
- 4) 허니콤 판재의 인장시험 결과 10%의 변형률 내에서 인장 파괴가 발생하였으며 이로부터 알루미늄 허니콤 재료를 적용하는 데 있어서 인장하중을 주로 받는 부재 보다는 압축하중을 주로 받는 부재에 유리할 것으로 판단된다.
- 5) 허니콤 판재의 기계적특성을 평가하는 데 있어서 단위접합면적당 강도로 표기하였으며 이를 통하여 압축강도는 접합법의 차이에 따른 영향이 거의 없었으나 인장강도의 경우 접착제를 사용한 것보다 브레이징 접합법을 사용한 경우 그 강도가 현저히 증가함을 확인할 수 있었다.

References

- [1] M. M. Schwartz, "Brazed Honeycomb Structures", ASM Engineering bookshelf, Source Book on Brazing and Brazing Technology, Section IV, pp. 222-235, 1990.
- [2] K. J. Kim, "Light-Weight Design of Automotive Wheel Carrier by Using CAE (Computer Aided Engineering)", *Transaction of KSMT*, vol. 18, no. 4, pp. 543-549, 2016.
- [3] K. J. Kim, "Light-Weight Design of Automotive AA6061 Knuckle by Using CAE (Computer Aided Engineering)", *Transaction of KAIS*, vol. 17, no. 9, pp. 663-668, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.9.663>
- [4] K. J. Kim, "Light-Weight Design of Automotive Tension Link Based on Computer Aided Engineering", *Trans. Korean Soc, Mech. Eng. A*, vol. 41, no. 6, pp. 564-566, 2017.
- [5] K. J. Kim, "Development of light-weight design technologies for the secure mounting of battery into the body of electric vehicles", *MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKST -OFFTECHNIK*, vol. 48, no. 5, pp. 400-405, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mawe.201700010>

김기주(Kee Joo Kim)

[중신회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 일반대학원 재료공학부 (공학박사)
- 1993년 8월 ~ 2009년 2월 : 쌍용자동차 기술연구소 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 2016년 2월 : 서정대학교 자동차과 교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

기계공학, 기계설계, CAE