

## 유한요소법을 이용한 복합재료의 충격에 관한 해석

김성수<sup>1</sup>, 김영춘<sup>2</sup>, 홍순직<sup>3</sup>, 국정한<sup>4</sup>, 김세환<sup>5</sup>, 조재웅<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부,  
<sup>3</sup>공주대학교 신소재공학부, <sup>4</sup>한국기술교육대학교 기계정보공학부,  
<sup>5</sup>공주대학교 금형설계공학과

### Analysis on the Impact of Composite by Using FEM

Sung-Soo Kim<sup>1</sup>, Young-Chun Kim<sup>2</sup>, Soon-Jik Hong<sup>3</sup>, Jeong-Han Kook<sup>4</sup>,  
Sei-Hwan Kim<sup>5</sup> and Jae-Ung Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

<sup>2</sup>Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

<sup>3</sup>Division of Advanced Materials Engineering, Kongju University

<sup>4</sup>School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

<sup>5</sup>Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju University

**요 약** 본 연구에서는 알루미늄 폼 코어 복합재료의 기계적 성질을 시뮬레이션 해석을 통하여 고찰하였다. 시험편 모델에는 50J, 70J, 100J의 충격에너지를 가하였다. 50J, 70J 및 100J의 충격에너지에 대해서는 각각 3.4 ms, 3.2 ms 및 3.2 ms의 시점에서 최대하중이 발생하였다. 50J의 충격에너지를 가한 경우는 스트라이커가 복합재료의 상부 면재를 뚫고, 심재까지 손상을 입혔다. 그러나 하부 면재까지는 손상이 없이 그대로이었고 52 J의 에너지가 발생하였다. 70J의 충격에너지를 가한 경우는 스트라이커가 상부 면재를 관통한 후 하부 면재까지 손상을 주었고 65 J의 에너지가 발생하였다. 100J의 충격에너지를 가한 경우는 스트라이커가 면재와 심재를 완전히 관통하여 손상을 주었다. 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점에서는 최대하중이 되고 그 후로는 하중이 급격히 감소하다가 하부 면재에 도달할 때에 다시 급격히 증가하고 있다가 감소하였고 95 J의 에너지가 발생하였다.

**Abstract** In this study, mechanical property on the composite material of aluminum foam core is investigated by simulation analysis. Impact energies such as 50J, 70J, and 100J are applied to the specimen model. The maximum load occurs at 3.4ms for 50J, 3.2ms for 70J, and 3.2ms for 100J respectively. The striker penetrates the upper face sheet, causing the core to be damaged at 50J test but the lower face sheet remains intact with no damage. It results in occurring with the energy of 52 J. At 70J test, it penetrates the upper face sheet and penetrated the core. And the striker causes the lower face sheet with damage. And it results in occurring with the energy of 65 J. Finally at 100J test, the striker penetrated both the upper face sheet and core and even the lower face sheet. The load becomes maximum at the time when striker penetrates through the upper plate and it rapidly reduced. And then the load increases rapidly when reaching the lower face sheet. And it decreases again. It results in occurring with the energy of 95 J.

**Key Words** : Composite material, Aluminum foam, Mechanical property, Impact energy, Maximum load

---

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0006548).

\*Corresponding Author : Jae-Ung Cho (Kongju University)

Tel: +82-41-521-9271 email: jucho@kongju.ac.kr

Received October 24, 2012 Revised November 9, 2013 Accepted February 6, 2013

## 1. 서론

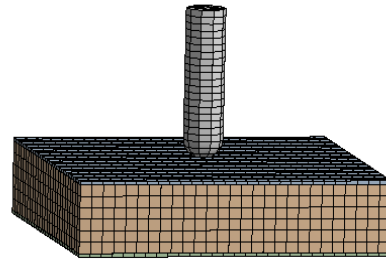
복합재료는 2종 이상의 재료를 조합·성형하여 단일 재료가 나타낼 수 없는 성질을 갖도록 한 재료이다. 즉, 성분이나 형태가 다른 두 종류 이상의 소재를 거시적으로 조합한 재료이다[1-2]. 응용분야로는 우수한 기계적 특성을 이용한 구조재 응용 및 기능성 재료로의 응용으로 구분할 수 있다. 구조용 복합재료는 고인성, 고강도 및 우수한 고온특성 등을 이용한 발전 및 터빈엔진소재(고온 및 마모부품), 우주항공소재(고강도 고인성 부품, 추진체), 산업공정장비(열교환기, 방열 21UB버너, 연소로 펌, 고온치구) 등에 응용이 가능하다[3]. 기능성 복합재료는 전기 및 자성특성을 이용한 각종 전자기 부품 및 센서 재료, 항균특성을 이용한 의료용 소재, 화학적 특성을 이용한 고온 가스필터 및 촉매정화장치 등 환경 재료 등에 응용이 가능하다[4].

복합재료의 기계적인 성질들을 체계적으로 규명하고 정확한 파괴강도 해석과 안전설계 및 새로운 고급재료의 개발에 필요한 자료를 제공할 수 있는 기초적인 연구의 중요성이 높아짐에 따라 여러 연구자들이 관심을 가지고 연구 활동을 하고 있다[5]. 본 연구 재료인 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 심재로 사용되는 알루미늄 폼은 기공의 크기를 제어가 가능하고 적용하려는 용도에 따라 밀도나 최대 지지하중을 조절할 수 있다. 또한, 기공의 형태에 따라서 개방형(Opened-cell)과 폐쇄형(Closed-cell)으로 나누어지는데 개방형은 주로 열전달 분야에 사용되고, 폐쇄형은 충격 흡수재로 쓰인다[6]. 이 연구에서는 폐쇄형 알루미늄 폼 코어 샌드위치를 충격 해석을 통해 기계적 특성을 분석하고자 하였다[7]. 복합재료의 충격 특성 분석에는 먼저 설계 프로그램인 CATIA를 사용하여 실제 재료와 유사한 3차원 모델의 설계방법을 제시하고자 하였고, 또한 유한요소모델(Finite element model)을 가지고 ANSYS를 통하여 하중, 에너지 및 변형량에 대해서 분석 하였다.

## 2. 모델의 해석 조건

본 연구는 직경이 12.5 mm인 스트라이커가 알루미늄 폼 샌드위치에 50J, 70J, 100J의 충격을 가하는 연구로서 유한요소모델은 Fig. 1과 같이 사면체 요소(Tetrahedral element)로 분할하였으며, 절점 및 요소들의 개수는 9332 및 6264 이다. 또한 스트라이커는 Structural steel를 강체로서 사용하였고, 알루미늄 폼 코어의 심재는 Aluminum 3003을 사용하였고, 면재는 Aluminum SAF40를 사용하

였다. 각 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

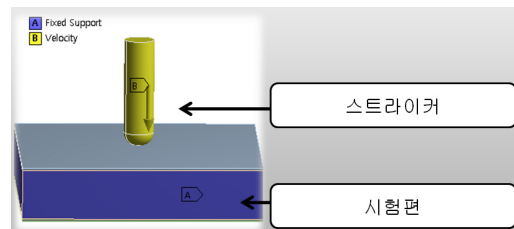


[Fig. 1] Finite element model

[Table 1] Material property

	Al - SAF40	Al - 3003
Density(kg/m <sup>3</sup> )	400	2730
Young's Modulus (MPa)	2,374	66,500
Poisson's Ratio	0.29	0.33
Yield Strength (MPa)	1.8	186
Shear Modulus (GPa)	0.92	25

Fig. 2와 같이 스트라이커에 50 J, 70 J, 100 J의 충격 속도를 부여 하였다. 또한 심재와 면재의 Contact 조건은 Bonded를 하였고, 스트라이커와 시험편의 Contact 조건은 Frictionless로 설정 하였다. 그리고 시험편 심재 부분의 끝 면을 Fixed Support로 하였다. 여기서 충격 에너지에 따른 충격속도 조건은 Table 2와 같다.



[Fig. 2] Constraint condition of analysis model

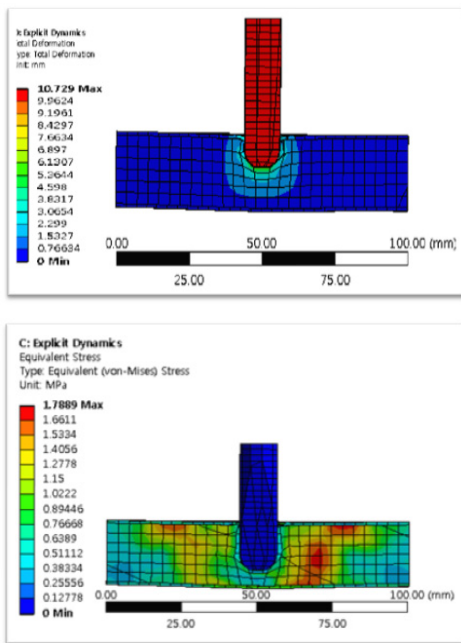
[Table 2] Impact velocity according to impact energy

Impact energy(J)	Impact velocity(m/s)
50	2.3
70	2.7
100	3.3

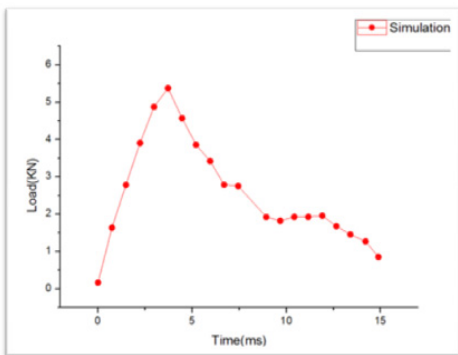
### 3. 모델의 해석 결과

#### 3.1 충격에너지 50 J의 해석 결과

50J의 충격에너지를 부여한 결과, 전 변형량의 최대값이 약 10.73 mm 가 나왔고, 등가응력의 최대값은 약 1.77 Mpa 이 나왔다. 그리고 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 상부 면재를 통과 후, 심재를 약 8 mm 정도를 뚫었다. 이 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 해석 결과 그림을 보면 스트라이커가 상부의 면재를 뚫고, 심재의 중간 정도까지 손상을 입힌 것을 볼 수 있다.



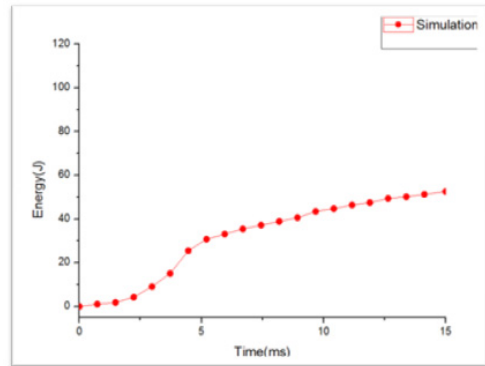
[Fig. 3] Result on deformation and stress at the impact energy of 50J



[Fig. 4] Graph on load due to time at the impact energy of 50J

50J의 충격에너지를 부여한 해석 결과 그래프, Fig. 4를 보면 약 3.4 ms 지점에서 최대하중을 보였다. 이 지점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이다. 이 때 최대 하중은 약 5.4 KN이 나왔다. 그 후 서서히 감소하는 양상을 보였다.

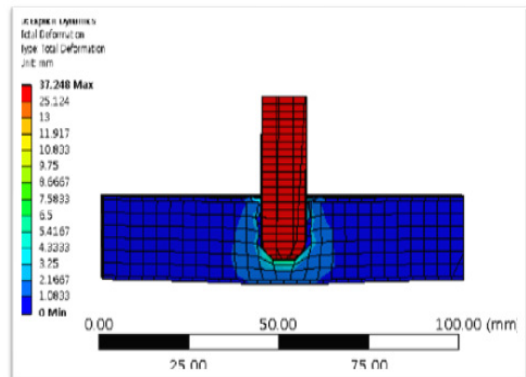
또한, Fig. 5를 보면 15 ms의 시간 동안 약 52 J의 에너지가 발생한 것을 확인할 수 있다.

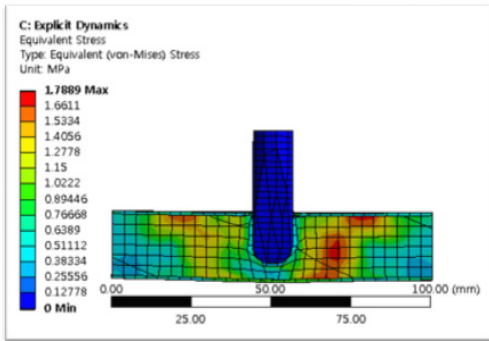


[Fig. 5] Graph on energy due to time at the impact energy of 50J

#### 3.2 충격에너지 70 J의 해석 결과

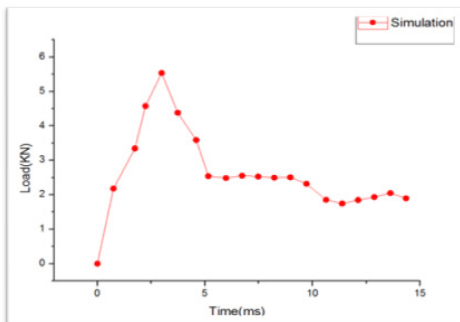
70J의 충격에너지를 부여한 결과, 전 변형량의 최대값이 약 37.25 mm 가 나왔고, 등가응력의 최대값은 약 1.80 Mpa 이 나왔다. 그리고 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 상부 면재를 통과 후, 심재를 약 14 mm 정도를 뚫었다. 이 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 해석 결과 그림을 보면 스트라이커가 상부 면재를 관통한 후 심재의 끝부분까지 손상을 준 것을 볼 수 있다.





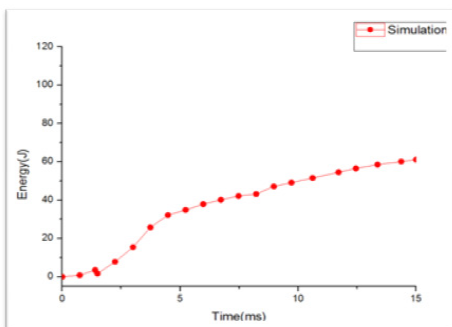
[Fig. 6] Result on deformation and stress at the impact energy of 70J

70J의 충격에너지를 부여한 해석 결과 그래프, Fig. 7를 보면 약 3.2 ms 지점에서 최대하중을 보였다. 이 시점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이다. 이 때 최대 하중은 약 5.5 kN이 나왔다. 그 후 서서히 감소하는 양상을 보였다.



[Fig. 7] Graph on load due to time at the impact energy of 70J

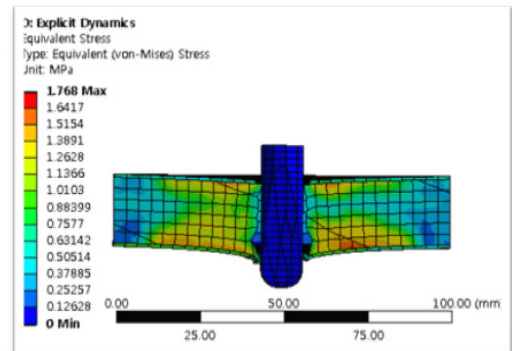
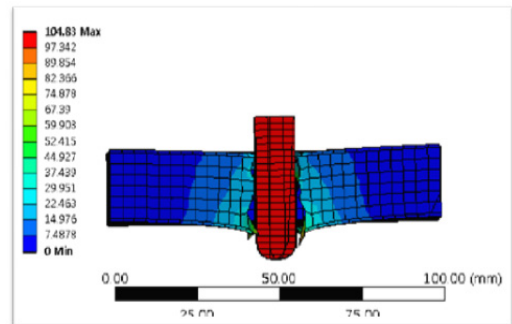
또한, Fig. 8을 보면 15 ms의 시간 동안 약 65 J의 에너지가 발생한 것을 확인할 수 있다.



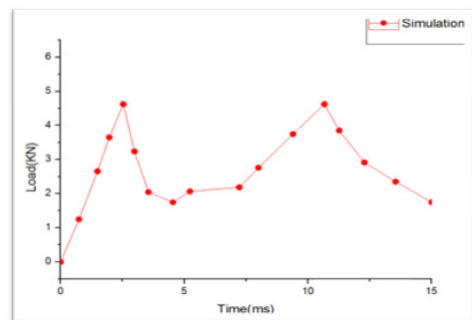
[Fig. 8] Graph on energy due to time at the impact energy of 70J

### 3.3 충격에너지 100 J의 해석 결과

100J의 충격에너지를 부여한 결과, 전 변형량의 최대값이 약 104 mm 가 나왔고, 등가응력의 최대값은 약 1.79 Mpa 이 나왔다. 그리고 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 상부 면재와 심재, 하부 면재까지 관통하였다. 약 30 mm 정도를 뚫었다. 이 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 해석 결과 그림을 보면 스트라이커가 면재와 심재를 완전히 관통한 듯 손상을 주었다는 것을 볼 수 있다.

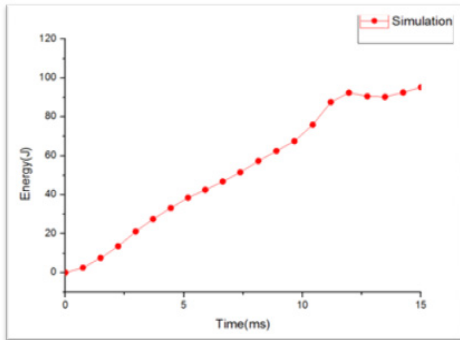


[Fig. 9] Result on deformation and stress at the impact energy of 100J



[Fig. 10] Graph on load due to time at the impact energy of 100J

100J의 충격에너지를 부여한 해석 결과 그래프, Fig. 10을 보면 약 3.2 ms 지점에서 최대하중을 보였다. 이 시점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이다. 이때 최대 하중은 약 5.5 KN이 나왔다. 그 후 급격히 감소하다가 다시 급격히 증가하고 있다. 이때가 하부면재를 관통하는 시점이다. 또한, Fig. 11을 보면 15 ms의 시간 동안 약 95 J의 에너지가 발생한 것을 확인 할 수 있다.



[Fig. 11] Graph on energy due to time at the impact energy of 100J

#### 4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료를 FEM 기법을 통하여 충격에 대한 기계적 특성을 파악하고자 했다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 50J의 충격에너지를 부여한 결과에서는 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 상부 면재를 통과 후, 심재를 약 8 mm 정도를 뚫었으므로 스트라이커가 상부의 면재를 뚫고, 심재의 중간 정도까지 손상을 입혔다. 해석 결과 그래프에서는 약 3.4 ms 지점에서 최대하중을 보였고, 이 시점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이며, 이 때 하중은 약 5.4 KN이 나왔다. 그 후 서서히 감소하는 양상을 보였다. 또한, 약 52 J의 에너지가 발생한 것을 확인 할 수 있었다.
- 2) 70J의 충격에너지를 부여한 결과에서는 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 상부 면재를 통과 후, 심재를 약 14 mm 정도를 뚫었으므로 스트라이커가 상부 면재를 관통한 후 심재의 끝부분까지 손상을 주었다. 해석 결과 그래프에서는 약 3.2 ms 지점에서 최대하중을 보였고, 이 시점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이며, 이 때 하중은 약 5.5 KN이 나왔다. 그 후 서서히 감소하

는 양상을 보였다.

또한, 약 65 J의 에너지가 발생한 것을 확인 할 수 있다.

- 3) 100J의 충격에너지를 부여한 결과에서는 스트라이커가 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 면재와 심재를 완전히 관통한 듯 손상을 주었다. 해석 결과 그래프에서는 약 3.2 ms 지점에서 최대하중을 보였고, 이 시점이 스트라이커가 상부 면재를 관통하는 시점이다. 이 때 하중은 약 5.5 KN이 나왔다. 그 후 급격히 감소하다가 다시 급격히 증가하고 있다. 이때가 하부면재를 관통하는 시점이다. 또한, 약 95 J의 에너지가 발생한 것을 확인 할 수 있다.

#### References

- [1] S. O. Bang, K. S. Kim, S. H. Kim, S. G. Song, J. U. Cho, "Study on Compression test of Aluminum foam and honeycomb sandwich composites", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society, Vol. 12, No. 9, pp. 3802-3807, September, 2011.
- [2] H. K. Choi, S. H. Kim, J. U. Cho, "Study on Structural Analysis of DCB Specimen Bonded with Aluminum Foam Composite", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society, Vol. 13, No. 4, pp. 1488-1495, April, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.4.1488>
- [3] A. Paul, U. Ramamurty, "Strain Rate Sensitivity of a Closed-cell Aluminum Foam", Materials Science and Engineering: A, Vol. 281, Issues 1-2, pp. 1-7, April, 2000.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00750-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00750-9)
- [4] U. Ramamurty, M. C. Kumaran, "Mechanical Property Extraction through Conical Indentation of a Closed-cell Aluminum Foam", Acta Materialia, Vol. 52, Issue 1, pp. 181-189, January, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2003.09.004>
- [5] M. De. Giorgi, A. Carofalo, V. Dattoma, R. Nobile, F. Palano, "Aluminum Foams Structural Modelling", Computers & Structures, Vol. 88, Issues 1-2, pp. 25-35, January, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.06.005>
- [6] H. X. Zhu, S.M. Thorpe, A.H. Windle, The effect of cell irregularity on the high strain compression of 2D Voronoi honeycombs, International Journal of Solids and Structures, Vol. 43, Issue 5, pp. 1061-1078, March, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.05.008>

[7] H. J. Chung, K. Y. Rhee, B. S. Han and Y. M. Yoo, "Tensile and Compression Behaviour of Al Foam FEM Using 3D Scan", 2006 Autumn Conference Proceeding of KSPE, pp. 255-256, October, 2006.

**김 성 수(Sung-Soo Kim) [준회원]**



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

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

**김 영 춘(Young-Chun Kim) [정회원]**



- 1989년 8월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 공과대학 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 태양광에너지

**홍 순 직(Soon-Jik Hong) [정회원]**



- 2001년 2월 : 충남대학교(박사)
- 2003년 5월 : 급속응고신소재연구소
- 2005년 5월 : University of Central Florida
- 2005년 7월 ~ 2006년 3월 : 한국원자력연구원
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>

금속재료, 분말재료, 나노재료

**국 정 한(Jeong-Han Kook) [정회원]**



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 현재 : 한국기술대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

용접공학, 파괴역학, 재료강도 등

**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
- 2012년 2월 : 공주대학교 금형설계공학과 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

**조 재 응(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