

자동차 도어의 충돌 시 파손에 대한 안전성 연구

조재웅^{1*}, 민병상², 김기선¹

¹공주대학교 기계자동차공학부, ²공주대학교 대학원 기계공학과

Study of Safety on Damage of Automotive Door at Impact

Jae-Ung Cho^{1*}, Byoung-Sang Min² and Key-Sun Kim¹

¹Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University,

²Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

요약 본 연구에서는 자동차 도어에 대한 충격을 흡수하기 위한 차체의 해석을 함으로서 승차자의 안전을 조사할 수 있었다. 차체의 충돌이나 운전자의 부주의로 인한 주차 사고 때문에 자동차 도어의 손상이 일어난다. 이러한 도어는 CATIA 프로그램으로 모델링하였고, ANSYS 프로그램을 통하여 충돌에 의한 도어 모델의 파손과정을 해석하고 조사하였다. 등가응력과 변형율의 등고선들을 구하였고 충돌 하에서 도어가 어떻게 파손이 일어나는지를 확인하였다. 본 연구 결과로서 충돌안전을 고려한 도어 설계에 기여 할 것이라 사료된다.

Abstract In this study, the safety of passenger could be investigated by the analysis of car body to absorb the shock onto automotive door. The damage at door happens because of the collision of automotive door or parking accident due to the carelessness of driver. This door was modelled by CATIA program. The damage process of this model by impact was analyzed and investigated through ANSYS program. The contours of equivalent stress and strain were obtained. It can be known how damage of door becomes under impact and this study result can be thought to contribute for the design of door considering impact safety.

Key Words : Automotive door, Impact, Safety of passenger, Equivalent stress

1. 서론

고속도로 상에서 달리는 차량이나 국도 상에서의 운전 시, 차량의 충돌이 중요한 관건이 되고 있다. 특히 차량이 마주오는 차와 충돌이나 운전 미숙으로 인한 장애물이나 전진주 같은 곳에 충돌함으로써 야기되는 차체의 변형으로 인하여 차량이 전복되거나 파손되어 운전자의 생명에 위험한 상황이 되는 경우가 많다. 이를 해결하기 위하여 현대자동차 등 대기업체에서는 실제적으로 차량 충돌 실험을 하여 그 상해 수준을 판단하고 차체의 안전성이나 내구성을 찾음으로서 차체를 개발하고 있다. 그러나 신제품 차량이 나올 때마다 매번 충돌 실험 및 내구성 테스트를 하면 시간 소모와 제작 비용이 많이 들고 여러 가지 경제적인 개발을 하기가 힘든 면이 있다. 따라서 컴퓨터

시뮬레이션 해석을 차체 충돌에 적용함으로써, 충돌시 발생하는 여러 가지 요인과 환경 조건을 만들어서 그 응력 및 변형 등을 해석하여 검토할 수 있다. 또한 이러한 해석 결과를 토대로 하여 차체 자체의 손상과 변형을 최대한 줄여서 차체의 변형에 대한 저항을 최대한 조성함으로써 운전자나 승차자의 안전을 도모할 수가 있다[1-5]. 본 연구에서는 자동차 도어의 충돌 시나 주차시 운전부주의로 인한 충돌 하에서 도어가 어떻게 파손이 일어나는지를 확인하고, 승차자의 안전이 어느 정도 예상될 수 있는가가 주된 목적이다. 이에 따라 차체의 응력과 차체가 승차자에 직접 미치는 정면 방향으로의 변형량을 고찰하였다. CATIA에 의하여 자동차 도어를 모델링 하였으며, 이를 통하여 여러 가지 형태의 충돌에 대한 자동차 도어의 파손 과정을 ANSYS 프로그램을 사용하여 충돌

본 연구는 지식경제부 지정 공주대학교 자동차의장 및 편의부품 지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 10년 06월 28일

수정일 10년 07월 13일

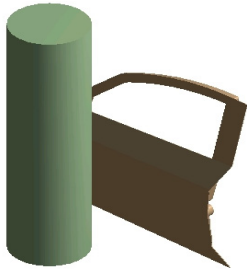
게재확정일 10년 12월 17일

해석을 수행하고 그 결과를 비교 검토하였다[6-9].

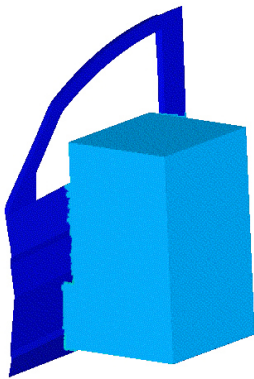
2. 모델 및 조건

2.1 연구모델

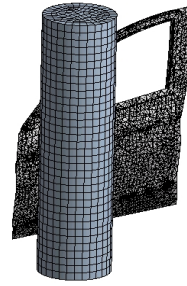
본 연구의 연구모델은 그림 1, 2와 같이 자동차의 운전자쪽 도어와 충돌체로 구성되어 있다. 그림 1의 충돌체는 전신주를 간편화 시킨 실린더 모양으로 하였고, 그림 2는 충돌하는 자동차 차체를 육면체모양으로 간편화시켰다. 그림 3은 모델을 해석하기 위해 유한요소모델로 나눈 그림으로서 요소는 테트라 요소와 헥사 요소를 섞어서 구성하였다. 실린더 구조물의 충돌의 경우는 그림 1의 경우로서 절점은 11818개, 요소는 25620개로 구성하였으며, 육면체충돌의 경우는 그림 2의 경우로서 절점은 14888개, 요소는 30426개로 구성하였다. 모델의 재료 특성은 각각 표 1로 나타냈다. 도어의 재질은 강으로 했으며 실린더 모양의 충돌체는 콘크리트로 하였고, 육면체 모양의 충돌체는 강으로 하였다[10,11].



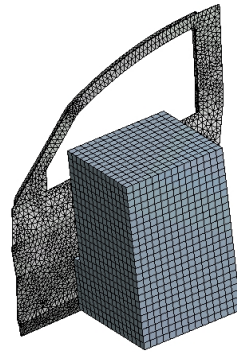
[그림 1] 실린더 충돌체 모델의 구성



[그림 2] 육면체 충돌 모델의 구성



(a) 실린더 모델 충돌체의 유한요소



(b) 층계 모델 충돌체의 유한요소

[그림 3] 유한요소 모델의 메시

[표 1] 재료의 물성치

| | | Door | Telephone pole |
|----------------------|----------|--------------------------|------------------------|
| Young's Modulus | | 2×10^{10} Pa | 3×10^{10} Pa |
| Poisson's Ratio | | 0.3 | 0.18 |
| Tensile Strength | Yield | 250 MPa | 0 Pa |
| Compressive Strength | Yield | 250 MPa | 0 Pa |
| Tensile Strength | Ultimate | 460 MPa | 5 MPa |
| Density | | 7850 Kg/m ³ | 2300 Kg/m ³ |
| Shear Modulus | | 8.18×10^{10} Pa | 2.206×10^7 Pa |

2.2 경계 조건

그림 4는 모델의 구속 및 속도 조건들을 나타낸 그림이다. 도어의 양쪽 끝부분을 고정시켰으며, 실린더 충돌체 3가지와 육면체 충돌 2가지를 표 2와 같이 속도조건을 부여하여 충돌시키도록 하였다. 그림 4에 표시한 바와 같이 X 방향은 차체의 정면 방향이고, Y 방향은 차체의 측면 방향이다. A타입의 속도는 차체의 정면 방향으로 10Km/h, 차체의 측면 방향으로 30Km/h의 조건을 주었

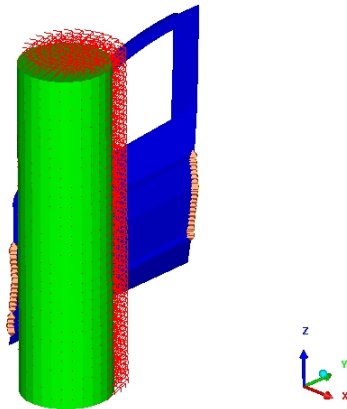
며, B타입의 속도는 차체의 정면방향으로 20Km/h, 차체의 측면방향으로 45Km/h의 조건이며, C타입의 속도는 차체의 정면방향으로 20Km/h, 차체의 측면방향으로 60Km/h로 하였다. D타입의 속도는 차체의 정면 방향으로 45Km/h 조건이고, E타입의 속도는 60Km/h의 조건을 주었다[11]. 이러한 속도 조건들을 가한 이유로는 육면체 충돌은 주행 중 전봇대에 충돌하거나 장애물에 충돌시를 가정하여 한 것이고, 층계 충돌의 경우는 주행 중 다른 차와 서로 충돌시에 그 도어의 안전성을 본 것이다. 이 충돌 속도를 가한 것은 운전자가 어느 정도 충돌을 감지하여 충돌이 된 것으로서 그 속도를 단계적으로 10 km/h 부터 60 km/hr까지 단계적으로 속도를 주어 해석을 하였다. 그리고 해석 시 경과시간은 실린더 충돌의 경우는 20 ms까지 해석하였으며, 육면체 충돌의 경우는 변형이 많이 일어나므로 10 ms까지 하였다.

[표 2] 모델 각각의 속도 조건(Km/h)

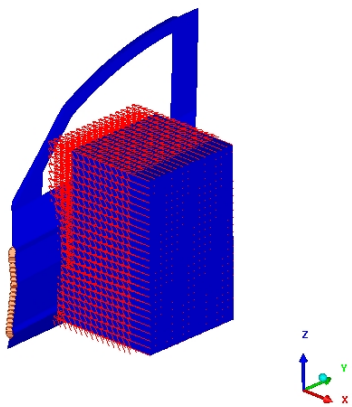
| Type | X 방향(차체의 정면 방향) | Y 방향(차체의 측면 방향) |
|------|-----------------|-----------------|
| A타입 | -10 | 30 |
| B타입 | -20 | 45 |
| C타입 | -20 | 60 |
| D타입 | -45 | 0 |
| E타입 | -60 | 0 |

3. 해석 결과

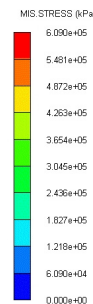
그림 5는 각 타입에 대한 응력의 등고선 그림들이다. A타입의 최고 응력은 0.007s에서 609MPa로 나타났고, 평균 응력은 553MPa로 나타났다. B타입의 최고응력은 0.019s 에서 553MPa로 나타났고, 평균응력은 499MPa로 나타났다. C타입의 최고 응력은 0.011s에서 608MPa로 나타났고, 평균 응력은 562MPa로 나타났다. D타입의 최고 응력은 0.008s에서 685MPa로 나타났으며, 평균응력은 590MPa로 나타났다. E타입의 최고응력은 0.009s에서 689MPa이고, 평균 응력은 628MPa로 나타났다. 그림 6은 각 타입에서의 경과시간에 대한 응력들을 비교한 그래프이다. A에서 C의 경향은 비슷했으며 다만 B타입의 평균 응력이 50에서 60MPa정도 작게 나타났고, D 및 E 응력도 비슷한 경향을 보였다. 육면체 충돌의 경우들인 D 및 E의 평균응력이 실린더 충돌의 경우들인 A에서 C타입과 비교하여 보면, 약 70MPa이 더 커서 12% 이상 차이가 나타났다.



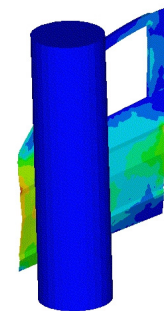
(a) 실린더 충돌체의 조건



(b) 층계 충돌체의 조건

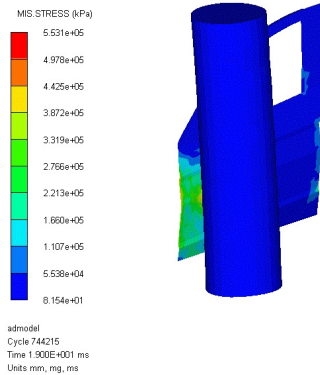


admodel
Cycle 277019
Time 7.030E+000 ms
Units mm, mg, ms

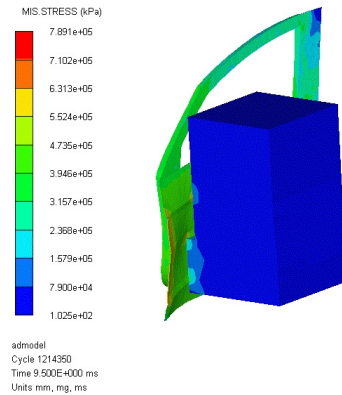


(a) A타입의 응력

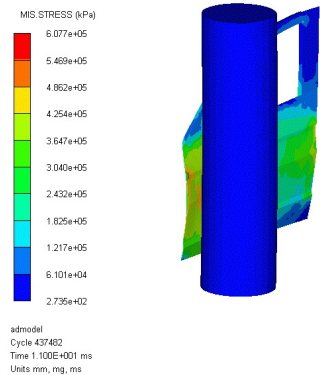
[그림 4] 모델의 구성 및 속도 조건



(b) B타입의 응력

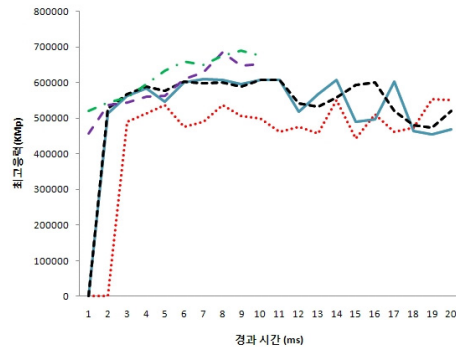


(e) E타입의 응력

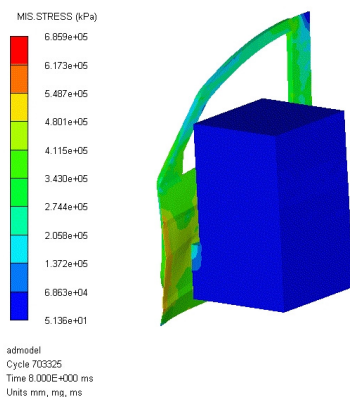


(c) C타입의 응력

[그림 5] 각 타입의 응력에 대한 그림



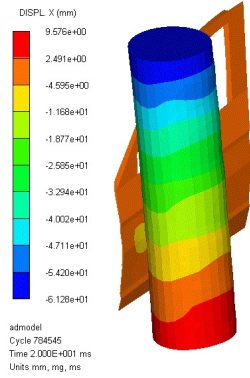
[그림 6] 각 타입의 응력에 대한 비교 그래프



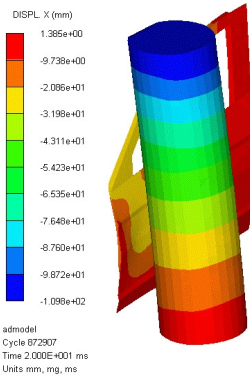
(d) D타입의 응력

그림 7은 각 타입에 대한 차체의 정면 방향에 변형량의 등고선 그림들이다. A타입의 변형량은 계속 증가하는 경향을 보이고 있다. 20ms에서 61.28mm로 나타났다. B 타입의 변형량 역시 증가하고 있는 경향을 보였으며, 최대 변형량은 20ms에서 109.8mm로 나타났다. C타입의 변형량 역시 증가하는 경향을 보였고, 최대 변형량은 20ms에서 105mm로 나타났다. D타입의 변형량 역시 변형이 증가하는 경향을 보였고 최고 변형은 10ms에서 124.9mm로 나타났다. E타입의 변형량 역시 변형이 증가했으며 최대 변형은 10ms에서 166.5mm로 나타났다. 그림 8은 각 타입의 변형량들을 경과시간에 대하여 비교한 그래프이다. 전반적으로 X 방향의 속도가 증가함에 따라 상승하는 그래프를 보이고 있으며, A타입은 20ms에서 61.28, B 타입은 20ms에서 109.8mm, C타입은 20ms에서 105mm, D타입은 10ms에서 124.9mm로 나타났으며, B 타입과 C 타입에서 보면 Y 방향의 속도에는 무관하게 거의 그 변

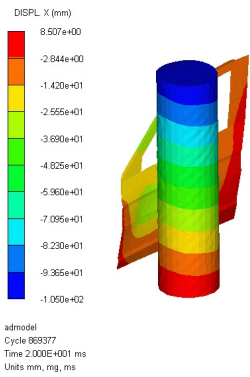
형량이 같게 나옴을 알 수 있었다.



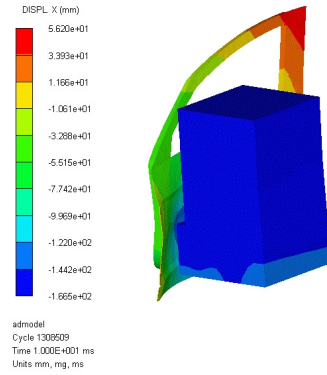
(a) A타입의 변형량



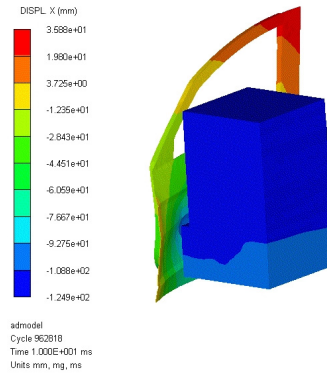
(b) B타입의 변형량



(c) C타입의 변형량

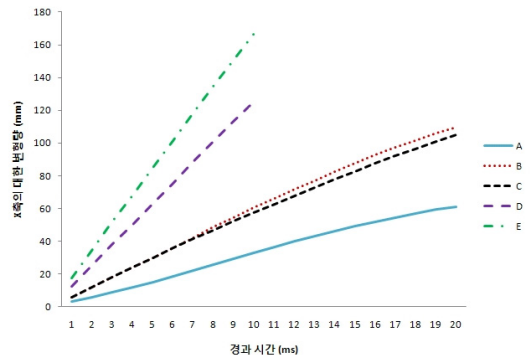


(d) D타입의 변형량

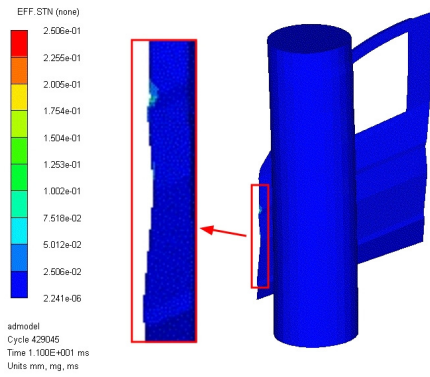


(e) E타입의 변형량

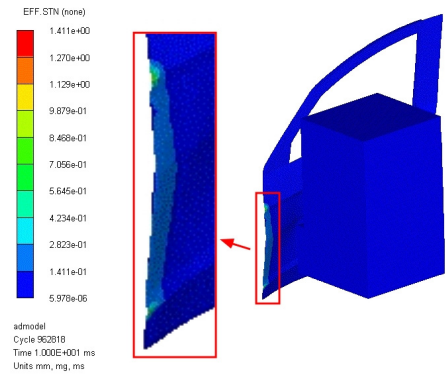
[그림 7] 각 타입의 변형량에 대한 그림



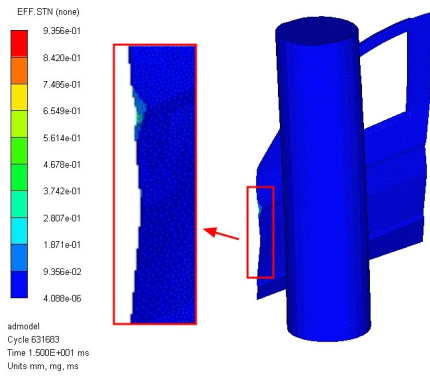
[그림 8] 각 타입의 변형량에 대한 비교 그래프



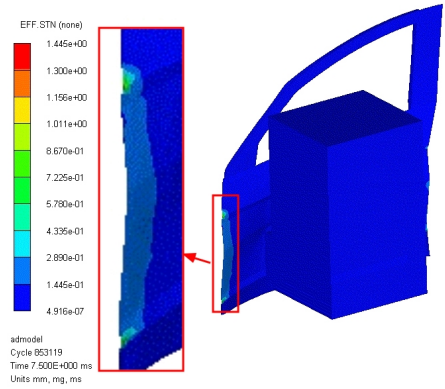
(a) A타입의 변형률



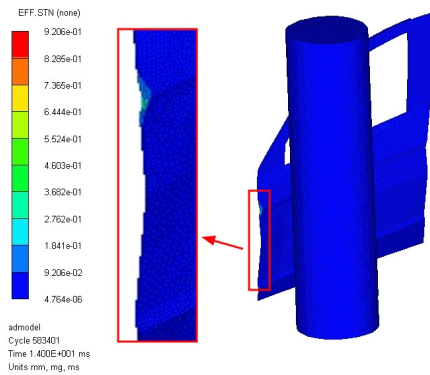
(d) D타입의 변형률



(b) B타입의 변형률



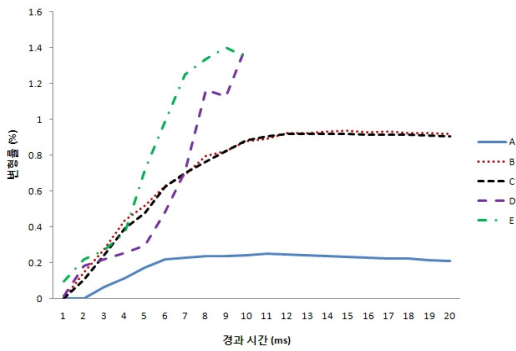
(e) E타입의 변형률



(c) C타입의 변형률

[그림 9] 각 타입의 변형률에 대한 그림

그림 9는 각 타입의 변형률에 대한 등고선 그림들이다. A타입의 최고 변형률은 0.011s에서 0.2506으로 나타났고, B타입의 최고 변형률은 0.015s에서 0.9356으로 나타났고, C타입의 최고 변형률은 0.014s에서 0.9206으로 나타났고, D타입의 최고 변형률은 0.010s에서 1.411로 나타났으며, E타입의 최고 변형률은 0.0075s에서 1.445로 나타났다. 그림 10은 각 타입에 대하여 경과 시간에 대한 변형율들을 비교한 그래프이다. 전반적으로 X 방향의 속도가 증가함에 따라 상승하는 경향을 보이고 있다. 다만 A타입의 변형률이 B와 C보다 1/4 정도 낮게 나타났으며, D 및 E변형률들은 상승하는 경향을 보였다.



[그림 10] 각 타입의 변형률에 대한 비교 그래프

4. 결론

본 연구에서는 자동차 도어의 측면 충돌 시나 주차 시 운전부주의로 인한 충돌 하에서 도어가 어떻게 파손이 일어나는지를 확인하고, 승차자의 안전을 예상할 수 있었다. 이러한 해석 결과들을 도출하여 얻은 주요 결론들은 다음과 같다.

- 1) 육면체 충돌의 경우들인 D 및 E의 평균응력이 실린더 충돌의 경우들인 A에서 C타입과 비교하여 보면, 약 70MPa이 더 커서 12% 이상 차이가 나타났다.
- 2) 전반적으로 X 방향의 속도가 증가함에 따라 상승하는 경향을 보이고 있다. B 타입과 C 타입에서 보면 Y 방향의 속도에는 무관하게 거의 그 변형량이 같게 나옴을 알 수 있었다.
- 3) 전반적으로 X 방향의 속도가 증가함에 따라 상승하는 경향을 보이고 있다. 다만 A타입의 변형률이 B와 C보다 1/4 정도 낮게 나타났다.
- 4) 이와 같은 결과를 차체의 주요 부분인 도어의 초기 설계단계에 적용한다면, 충돌안전을 고려한 설계에 기여 할 것이라 사료된다.

참고문헌

[1] 강신유, 김현영, "자동차 프론트 도어의 측면 충격 해석," 자동차공학회지, 제19권, 제2호, pp. 1-9, 1997.
 [2] 서경덕, 김동한, 오세희, "고속주행 풍동시험시 도어프레임 강성의 주요 설계인자 분석," 한국자동차공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 1253-1827, 2007.
 [3] 이광원, "자동차 도어 외판 강성 향상을 위한 최적화," 한국자동차공학회 추계 학술대회논문집, PP. 901-904, 2000.

[4] 조재웅, 민병상, 한문식, "차체의 충돌에 관한 시뮬레이션 해석," 한국공작기계학회지, 제 18권, 제 5호, pp. 477-482, 2009.
 [5] 이영림, 황순호, "차량 도어 닫힘시 승객실 압력 변화에 관한 수치해석적 연구," 한국산학기술학회 2009년도 추계학술발표논문집, pp. 711-714, 2009.
 [6] 송세일, 박경진, "합체박판 기술을 적용한 고강도 경량도어 최적 설계," 한국자동차공학회논문집, 제10권, 제2호, pp. 174-185, 2002.
 [7] 황우석, 이덕영, 하명수, "합체박판 성형기법의 적용을 위한 자동차 도어의 구조 설계," 한국자동차공학회논문집, 제10권, 제2호, pp. 228-233, 2002.
 [8] 김병삼, "자동차 충돌안전과 등급," 대한기계학회 기계저널, 제44권, 제8호, pp. 15-17, 2004.
 [9] 김영기, 허용정, "차량 충돌 시험 및 인체 상해 기준 지원 시스템 연구," 한국산학기술학회 2005년도 춘계 학술발표논문집, pp. 48-50, 2005.
 [10] CATIA V5R18, 다쏘시스템, 프랑스, 2007.
 [11] Swanson, J., "Ansys 11.0," Ansys Inc., 2008.

조 재 웅(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 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

민 병 상(Byoung-Sang Min)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 금형설계전공 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

자동차 충돌 시 동적 해석, 프레스 금형

김 기 선(Key-Sun Kim)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1989년 7월 : 기계제작 기술사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

자동차 내장 및 시트 부품, 자동차 내외장부품 제조공정