

견인차-피견인차-주행차량의 3중 추돌에 관한 시뮬레이션 해석

조재웅^{1*}, 김유진¹, 김기선¹
¹공주대학교 기계자동차공학부

Simulation Analysis on Triple Collision between Wrecker, Towed Car and Driving Car

Cho, Jae Ung^{1*}, Kim, Eugene¹ and Kim, Key Sun¹

¹Dept, of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요 약 사고 현장에서 사고 차량을 옮기거나 주차위반 차량을 견인사업소로 이동시키기 위해 주로 이용되고 있는 리프트식 견인차는 피견인차의 구동방식에 따라 차량의 전부 또는 후부를 들어 올려 구동 바퀴로 이동할 수 있도록 하는 특수차량이다. 각 차량은 CATIA를 이용하여 모델링하고 이를 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 통하여 피견인차의 후부를 주행 차량이 들어 받는 추돌을 시뮬레이션한다. 본 논문에서는 견인중인 견인차와 이송중인 전륜 피견인차 및 일반 주행 중인 차량 사이에서 일어날 수 있는 3중 추돌사고를 일반적인 3중 추돌사고와 비교하여 견인 중에 발생하는 추돌사고가 얼마나 위험한지를 직접 확인한다. 또한 견인차가 피견인차를 들어 올려 발생하는 피견인차의 각도에 따른 추돌의 영향을 해석한다.

Abstract The wrecker truck of lift type is used to move damaged car in accident spot or to move illegal vehicle in towaway zone toward pound.. This special vehicle drives by lifting front or rear side of car with the driving type of towed car. Each car is modelled with CATIA and is simulated with FEM analysis program ANSYS. This study analyzes how dangerous is the triple collision among the wrecker-towed car-driving car as comparing with the usual collision accident with cars. It is studied how responsible is the towed car in case of crashing its back side by driving car. The influence on the driving angle of towed car by lifting wrecker is also considered.

Key Words : Rear-end collision, Wrecker, Towed car, FEM

1. 서론

불법 주·정차에 의해 이동되어야 하거나, 사고에 의해 자립주행이 불가능해진 차량은 견인차량에 의해 적법한 장소로 이동하게 된다. 견인차는 레커차, 구난차라고도 하며 보통 크레인 장비를 뒷부분에 장착하여 이로 차량을 달아 올려 이동하게 된다[1]. 최근에는 크레인장비 대신 프레임바 리프트 장치를 통하여 전부 또는 후부 양쪽의 바퀴를 들어 올리는 방식을 채용하기도 한다.

오늘날 자동차 홍수의 시대에서, 생각할 수 없을 정도로 많은 자동차 사고는 필연적이다. 매년 전 세계적으로 수많은 사람들이 자동차 충돌사고에 의해 다치거나 목숨

을 잃고 있다[2-6]. 이러한 현 시대에서 사고처리를 위해 꼭 필요한 견인차의 필요성은 두말할 필요가 없을 정도이다. 하지만 견인차 역시 차량이므로 견인차 주행 중에 발생할 수 있는 추돌사고를 쉽게 간과할 수만은 없다. 언론을 통한 각종 보도에서도 견인작업 중인 견인차와 주행차량간의 추돌사고 또는 견인차의 피견인 차량 이송중의 주행차량과의 추돌사고 소식은 왕왕 접할 수 있다. 이러한 견인 중 추돌사고는 일반적인 추돌사고와는 달리 견인차와 주행차량 사이에 피견인차가 존재하며, 이 피견인차는 자립주행이 불가능하기 때문에 자동차의 전부 또는 후부가 들려진 채로 이동한다는 차이가 있다.

본 논문에서는 이렇게 발생 가능한 견인 중 3중 추돌

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

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 10년 05월 07일

수정일 (1차 10년 07월 12일, 2차 10년 07월 26일)

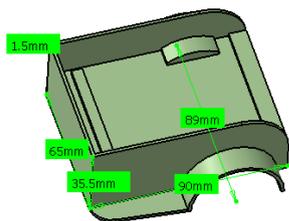
계재확정일 10년 11월 19일

사고의 위험성을 보다 이론적으로 명시하기 위하여 일반적인 3중 추돌사고와 비교하여 견인 중의 사고의 위험성을 증명하며, 견인차가 피견인차를 들어 올림과 동시에 발생하는 피견인차의 주행 각도가 추돌 후 어떠한 영향을 미치는지를 해석한다. 연구 방법으로는 견인차, 피견인차, 주행차량의 외형은 CATIA V5R18로 모델링하고 이를 ANSYS 12.0으로 일반적 추돌사고 유형(피견인차 주행각도 0°) 및 견인 중 추돌사고 유형(피견인차 주행각도 각 5°, 10°)을 시뮬레이션하여 그 영향을 비교한다.

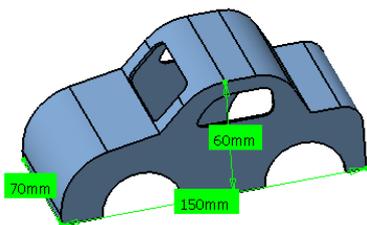
2. 모델 및 해석방법

2.1 연구 모델 및 해석방법

본 연구는 견인중인 차량과 피견인차 및 뒤에서 주행 중이던 일반 주행차량이 추돌했을 때의 각 차량에 미치는 영향을 확인하는 것으로서, 결과를 보다 간단히 해석하기 위하여 견인차량은 차량 전반부를 제외하고 피견인차를 끌고 가는 트레일러 부분만을 모델링하였으며, 나머지 피견인 및 주행차량은 차체 외형만 일체화 하여 단순화 시켜 모델링 하였다. 해석의 원활함을 위해 모델링은 1/24 축소모델을 사용하였고, 고속충돌 영역인 60Km/h의 속력을 1/24 배로 하여 700mm/s의 속력을 가중시켰다[7]. 그림 1은 모델링한 견인차의 후미 트레일러 부이며 그림 2는 피견인 및 주행 차량의 전체 모습이다. 주행차량은 피견인 차와 충돌되는 전반부만 해석에 이용되므로 그림 2의 후부를 잘라내었다.



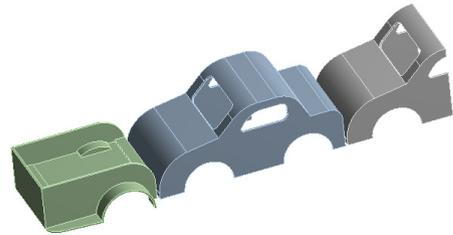
[그림 1] 견인차량 후미 트레일러 부



[그림 2] 피견인 및 주행차량 모델링

본 모델들은 해석의 원활함을 위해 부차적인 구조물들은 최대한 배제되었다. 견인차의 트레일러부는 0°, 5°, 10°의 주행각을 갖는 피견인차에 의해 충격을 받는 영역이 존재할 수 있도록 하고, 그 외의 각종 리프팅 장치는 제거한 채로 모델링하였으며 피견인 및 주행차량은 충격이 최대한 앞의 구조물에 전달될 수 있도록 평면적으로 접촉되는 부분이 많도록 설계하여 제작하였다.

그림 3과 그림 4는 각 모델을 정상적인 주행 조건을 위해[8] 가상의 바퀴가 가상의 노면위에 일직선상으로 놓여 지도록 구속시켜, 해석하고자하는 각 유형별로 해당 조건에 맞도록 어셈블리 시켜 배열한 모습이며, 그림 5는 이 어셈블리를 유한요소해석을 할 수 있도록 많은 요소와 절점으로 분리한 것이다. 이때보다 원활한 Mesh작업을 위해 급격히 각진 부분은 ANSYS의 부가기능인 Virtue Cell로 합쳐주었다. 이렇게 작업한 모델 어셈블리의 요소 및 절점의 수는 각각 4692개 및 12904개였다. 본 해석에서 사용할 모델의 재료로는 ANSYS에서 제공하는 Johnson-Cook Strength에 의한 AISI 4340 STEEL을 사용하였으며[9] 이에 대한 물성치는 표 1에 나타내었다.



[그림 3] 각 부분 모델 어셈블리



Case 1. 일반 주행 중 추돌 (0°)



Case 2. 견인 주행 중 추돌 (5°)



Case 3. 견인 주행 중 추돌 (10°)

[그림 4] 각 유형별 어셈블리

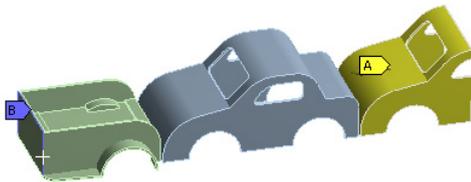


[그림 5] 모델 어셈블리 요소 및 절점

[표 1] 모델의 물성치

| Property | Value |
|---------------------------|--|
| Young's Modulus | 2.1×10^5 MPa |
| Poisson's Ratio | 0.31 |
| Density | 7.85×10^{-6} kg/mm ³ |
| Thermal Expansion | 1.7×10^{-5} 1/°C |
| Tensile Yield Strength | 1550 MPa |
| Tensile Ultimate Strength | 1855 MPa |

그림 6에서 보이는 바와 같이 가장 앞에 위치하는 견인차 트레일러의 전반부 B지점이 고정되도록 하여 앞 차는 정지되어 있고[10] 맨 뒤의 주행차량 A는 700mm/s의 속도로 움직이도록 설정시켰다.



[그림 6] 구속 및 속도조건

3. 해석 결과

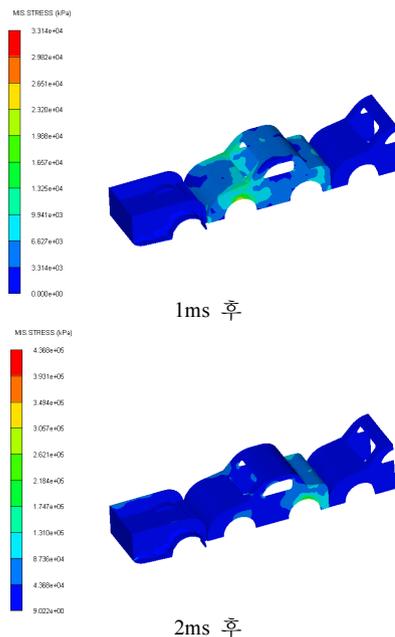
3.1 해석 결과

각 경우에 충돌 직후부터 5ms동안의 해석 결과를 1ms의 간격으로 확인하고 이를 피견인차의 주행 각도에 따라 비교한다. 응력(Stress)은 단위 면적당 작용하는 힘(N/mm² 또는 MPa)을 나타내며 본 논문에서 응력은 차체가 충돌하여 발생한 힘이 앞의 차체에 어느 정도 작용하는지를 확인하기 위한 지표로서 사용된다.

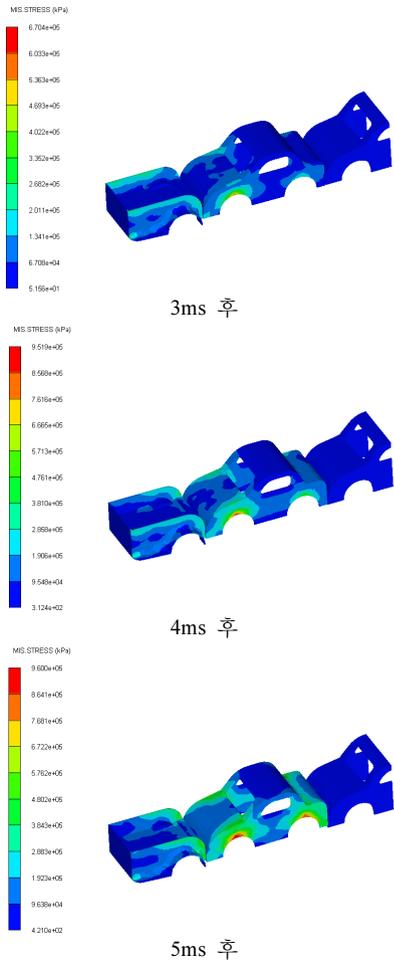
3.1.1 일반 주행 중 충돌(피견인차 주행각도 0°)

그림 7 및 그림 8은 일반 주행 중의 충돌 시 1, 2, 3, 4, 5 ms의 경과시간에서의 견인차 후부 및 피견인차에 어떠한 영향이 생기는지를 응력들의 그림들로서 나타내고 있다. 일반 주행차량이 피견인차를 들이 박은 후부터 1ms가 지난 후에 최고 33.140MPa의 응력이 피견인차에 나타났으며, 피견인차는 전반적으로 3.314에서 29.82MPa 사이의 응력이 분포하고 있다. 충돌 후 2ms부터 피견인차가 견인차의 후부 트레일러에 충돌하기 시작했으며 이 순간 피견인차의 응력은 차의 후반부에 주로 분포하며 트레일러에 최저 0.009MPa 최고 43.68MPa의 응력이 나타난다. 피견인차에는 최고 436.8MPa의 응력이 생기며 전체적으로 충돌직후 1ms가 지난 시점보다 큰 응력(43.68~305.7MPa)이 분포되고 있음을 확인할 수 있다.

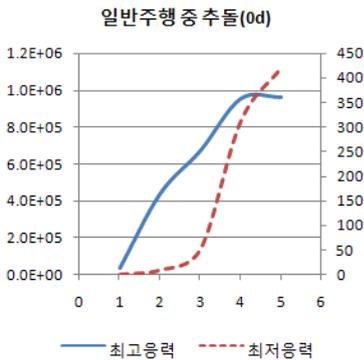
3ms 후부터 피견인차에 작용하는 응력은 주로 앞쪽에 분포하며 최고 670.4MPa의 응력이 작용한다. 트레일러 및 피견인차에 최저 0.5168MPa의 응력이 발생하며 분포 응력은 67.08에서 603.3MPa 까지이다. 이후 4ms 및 5ms 후에는 응력이 견인차 및 피견인차에 고르게 분포되면서 각각 최저응력 0.312MPa, 0.424MPa, 최고응력 915.9MPa, 960MPa이 발생하며 67.08에서 864.1MPa의 응력이 분포하게 된다.



[그림 7] 1 ms 및 2 ms의 시간 경과에 따른 일반 주행 중 충돌응력(kPa)



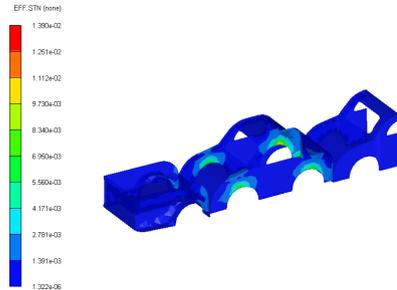
[그림 8] 3, 4, 5 ms의 시간 경과에 따른 일반 주행 중 충돌 응력(kPa)



[그림 9] 일반 주행 중 충돌시 시간(ms) 경과에 따른 응력(kPa)변화

그림 9는 위에서 설명한 각 시간 경과별 최고 및 최저 응력의 변화를 그래프 화 한 것으로 최고 응력이 시간이

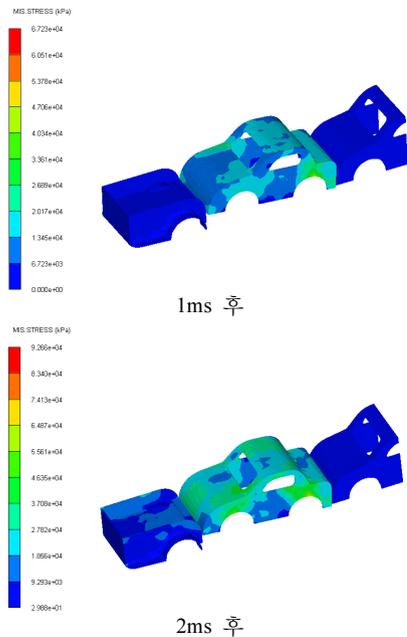
지남에 따라 비교적 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 10은 충돌 5ms후의 변형율을 나타내고 있다. 전체적인 변형률은 피견인 차량에 집중적으로 나타나고 있으며 이때 최대변형률 1.39×10^{-2} 이 나타났다.



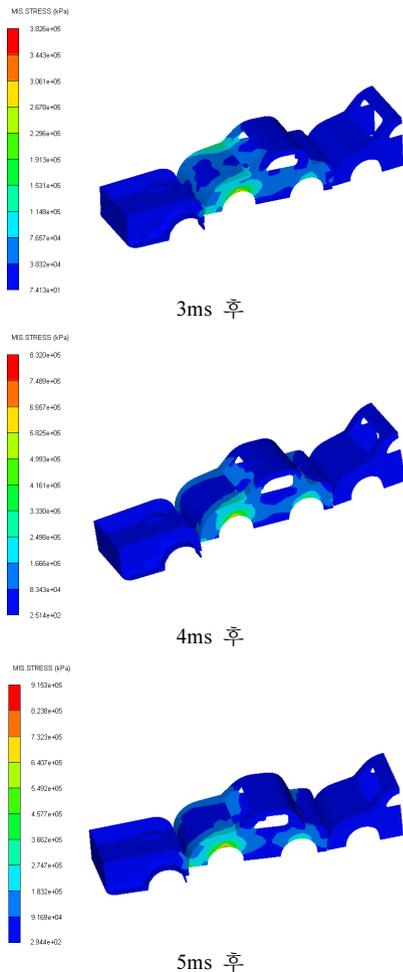
[그림 10] 일반 주행 중 충돌시 5ms의 시간에서의 변형률

3.1.2 견인 주행 중 충돌(피견인차 주행 각도 5°)

그림 11 및 그림 12는 피견인차가 5°의 각으로 견인될 때의 경우로서 충돌되어 1, 2, 3, 4, 5 ms의 경과시간에서의 응력에 대한 그림들이다. 1ms후에 피견인차에 발생하는 응력은 최고 67.23MPa이며 6.723MPa에서 60.51MPa에 이르는 응력이 고루 분포되고 있다. 2ms후에는 피견인차가 주행차에 의해 견인차 트레일러 후부에 충돌하기 시작했으며 이때 0.029MPa의 최저응력이 트레일러에 발생했다. 응력은 앞선 충돌 1ms후 보다 증가하여 최고 92.66MPa이 발생했다. 주로 발생하는 응력의 영역은 0.929에서 83.4MPa이다.

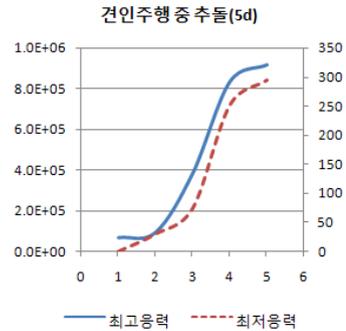


[그림 11] 1 ms 및 2 ms의 시간 경과에 따른 견인 주행 (주행각 5°) 중 충돌응력(kPa)

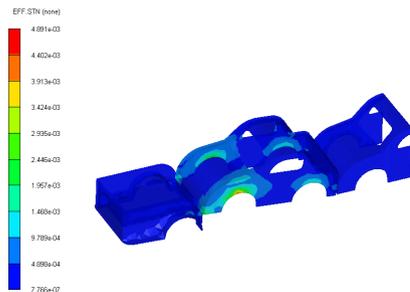


[그림 12] 3, 4, 5 ms의 시간 경과에 따른 견인 주행 (주행 각 5°) 중 충돌응력(kPa)

3ms후부터 트레일러 전체적으로 0.074MPa의 응력이 분포하였고 피견인차는 전반부 쪽으로 응력이 주로 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 피견인차 전체적인 응력은 38.83에서 344.3MPa 사이의 값이 주로 발생했다. 4ms가 지남에 따라 피견인차에 발생하는 응력이 순간 급격히 증가하여 최고 832MPa이 나타났다. 이 수치는 앞선 3ms 충돌 시 발생하는 최고 응력의 2배가 넘는 값이며, 자체 전반적인 발생 응력은 83.43 ~ 748.9MPa이다. 5ms 후에는 최고응력 915.3MPa이 발생했으며 최저 응력은 0.294MPa로 나타났다. 응력의 분포는 91.69에서 823.8MPa까지 보여졌다. 그림 13은 5ms동안의 최고 및 최저응력의 변화 추이를 확인할 수 있는 그래프로써, 최고응력을 살펴보면 앞서 설명했듯이 응력이 일정하다가 어느 순간 갑자기 증가하는 모습을 확인할 수 있다.



[그림 13] 견인 주행(5°) 중 충돌시 시간(ms) 경과에 따른 응력(kPa) 변화

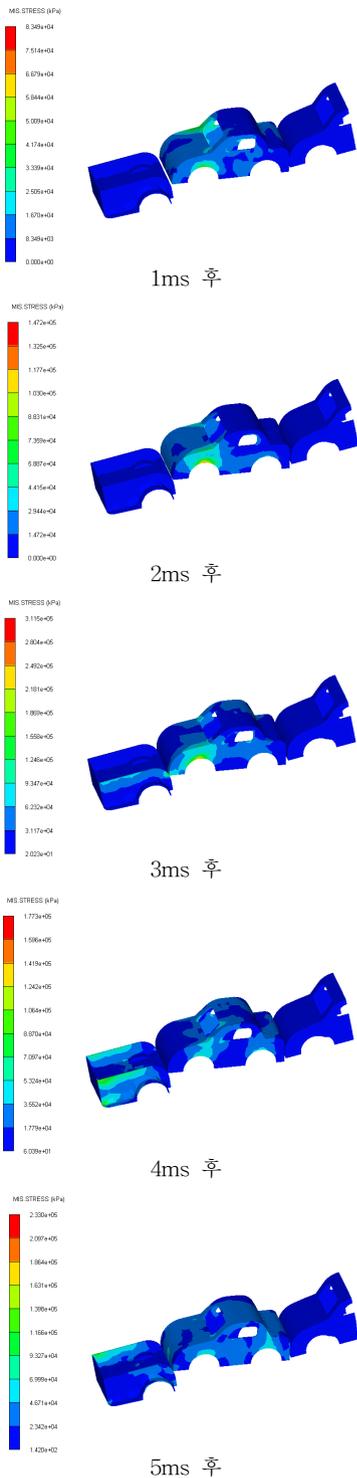


[그림 14] 견인 주행 중(5°) 충돌시 5ms의 시간에서의 변형률

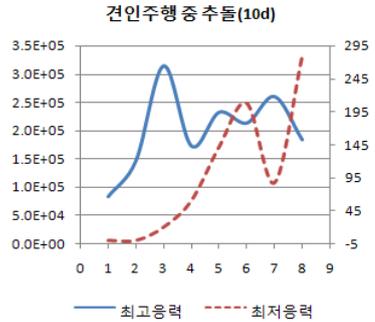
3.1.3 견인 주행 중 충돌(피견인차 주행 각도 10°)

그림 15는 피견인차가 10°의 각으로 견인되는 경우에 충돌시 1, 2, 3, 4, 5 ms의 경과시간에서의 응력들을 나타내고 있다. 충돌되고 1ms후에는 최고 83.49MPa의 응력이 나타나며 피견인차 후부에서부터 점차 전부로 전달되고 있음을 확인할 수 있다. 피견인차에 발생하는 응력은 8.329~75.14MPa 이었다. 2ms 후에는 최고 147.2MPa이 발생하며 3ms후에 피견인차가 견인차 트레일러에 충돌하여 최고응력 311.5MPa을 나타내었다. 전체적으로 최저 0.02MPa에서 280.4MPa에 이르는 범위에서 응력이 분포하였다. 4ms 후에는 최고 응력값이 감소하여 177.3MPa을 나타냈고 최저응력은 증가하여 0.06MPa로 나타났다. 이후 5ms 후에는 다시 최고 응력값이 증가하여 233MPa로 나타나고 최저응력은 증가하여 0.142MPa로 나타났다.

주행각이 10°인 경우에서의 견인 주행 중 시간경과별 추이를 보다 정확히 확인하기 위해 6ms~8ms 후의 응력 분포를 추가로 확인하였다. 그 후 각 시간 경과별 최고, 최저 응력이 어떻게 변화하는지를 그림 16에 나타내었다. 그래프를 보면 바로 확인할 수 있듯이, 최고 및 최저 응력이 증가 및 감소를 반복하고 있음을 확인할 수 있다.

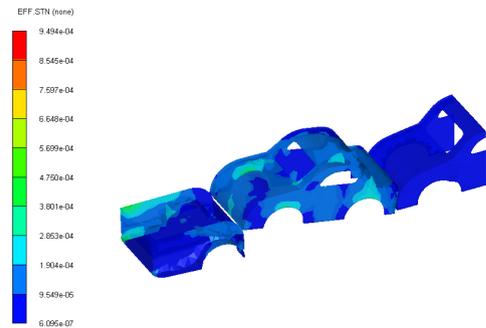


[그림 15] 1, 2, 3, 4, 5 ms의 시간 경과에 따른 견인 주행 중 추돌응력(kPa)(주행각 10°)



[그림 16] 견인 주행 (주행각 10°) 중 추돌시 시간 경과에 따른 추돌응력(kPa)

그림17은 10°로 견인 주행되는 경우의 충돌 후 5ms에서의 변형률을 보이고 있다. 피견인차 뿐만 아니라 견인차 전반적으로도 변형률이 고루 발생하며 이때의 최대 변형률은 9.494×10^{-4} 가 발생했다. 또한 일반 주행 중 추돌 및 견인 중 추돌에 의해 발생하는 최고 응력을 하나로 모아 그래프로 정리하면 그림18과 같다.

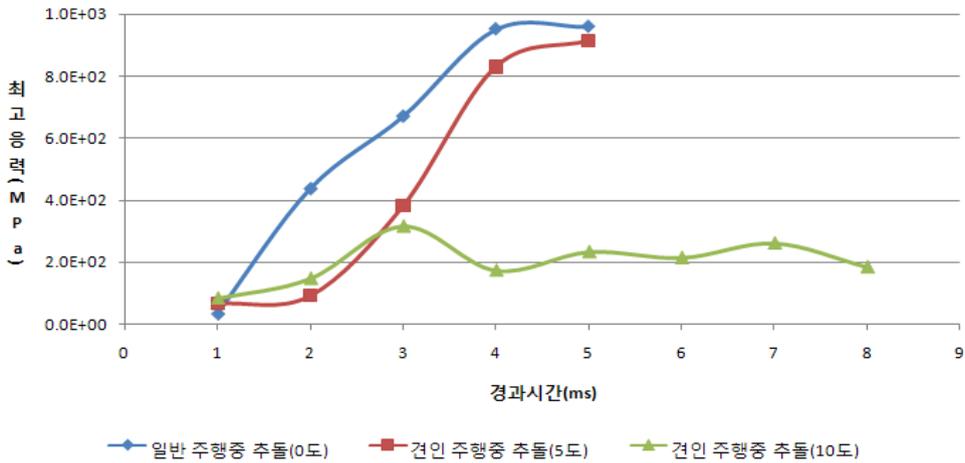


[그림 17] 견인 주행 중 추돌시(주행각 10°) 5ms의 시간에서의 변형률

4. 결론

본 연구는 견인중인 견인차와 이송중인 전륜 피견인차 및 일반 주행 중인 차량 사이에서 일어날 수 있는 3중 추돌사고를 비교하고 해석하여 본 바, 연구결과는 다음과 같다.

1. 일반 주행 중 3중 추돌사고의 경우 차체 전체적으로 발생하는 응력은 충돌하는 시간에 따라 선형적으로 증가하며 이는 충돌시간과 차량의 피해정도는 단순하게 비례한다는 것을 의미한다. 이때의 최대 변형률은 1.39×10^{-2} 이 나타났다.



[그림 18] 각 케이스 추돌 후 최고 응력 변화 추이

2. 건인 주행 중 3중 추돌사고의 경우, 피견인차가 5°의 각으로 견인될 때의 경우로서 응력이 일정하다가 어느 순간 갑자기 증가하는 모습을 확인할 수 있다. 즉, 피견인차에 힘이 순간 크게 작용하여 영향을 끼친다는 것을 의미한다. 이때의 최대 변형률은 4.891×10^{-3} 이었다.
3. 건인 주행 중 3중 추돌사고의 경우, 피견인차가 10°의 각으로 견인되는 경우로서 최고 및 최저 응력이 증가 및 감소를 반복하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 경우 비교적 높은 응력이 피견인차에 주기적으로 작용한다는 것을 의미한다. 이때의 최대 변형률은 9.494×10^{-4} 가 발생했다.
4. 견인중인 견인차와 이송중인 전륜 피견인차 및 일반 주행 중인 차량 사이에서 일어날 수 있는 3중 추돌사고를 일반적인 3중 추돌사고와 비교하여 견인 중에 발생하는 추돌사고가 얼마나 위험한지를 직접 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] Mohamed Abdel-Aty, Hassan Abdelwahab, "Modeling rear-end collision including the role of driver's visibility and light truck vehicles using a nested logit structure", *Accident Analysis and Prevention*, 36, pp. 447-456, 2월, 2004.

[2] 김현영, 김정민, 최종길, 이경택, 이동재, "후방 충돌 시 자동차 시트용 라운드 리클라이너의 충돌 안전성 평가", *한국자동차공학회 심포지움(자동차 구조 안전*

및 CAE), pp. 60-66, 11월, 2005.

[3] Xuesong Wang, Mohamed Abdel-Aty, "Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections", *Accident Analysis and Prevention*, 38, pp. 1137-1150, 4월, 2006.

[4] Xuedong Yan, Essam Radwan, Mohamed Abdel-Aty, Rami Harb, "Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model", *Accident Analysis and Prevention*, 37, pp. 983-995, 5월, 2005.

[5] 장익근, 전오환, 김호중, 허용정, "트리즈를 활용한 자동차 측면충돌의 도어트림 충격흡수부재의 충돌에너지 조절문제 해결에 관한 연구", *한국산학기술학회 2007년도 춘계학술발표논문집*, pp. 28-31, 5월, 2007.

[6] 이현섭, 허용정, "측면 충돌시 시트윙에 의한 상해치 저감 효과 연구", *한국산학기술학회 2005년도 춘계학술발표논문집*, pp.83-85, 5월, 2005.

[7] 한인환, "차량 저속 추돌의 연속 접촉력 모델", *한국자동차공학회논문집*, 제14권, 제4호, pp. 181-191. 7월, 2006.

[8] 김현진, 김진곤, 박용국, "보행자 안전을 위한 유럽 자동차 범규 및 차량 Front End Module부 충돌해석", *한국자동차공학회 지부추계학술대회논문집(대구, 경북)*, pp. 13-18, 9월, 2003.

[9] 강우중, 임지호, 허훈, 한수식, "동적 구성방정식을 적용한 자동차 차체 구조물의 충돌 특성 분석", *한국자동차공학회 추계 학술대회 논문집*, 1호, pp. 913-918, 1월, 2000.

[10] 김영만, 박제승, 최형연, 홍승준, "저속 후방 추돌에 의한 편타성 상대 연구", *한국자동차공학회 추계학술대회논문집*, Vol. 2, pp. 890-895, 10월, 2004.

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

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

김 유 진(Eugene Kim)

[준회원]



- 2007년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부(학사과정)

<관심분야>

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

김 기 선(Key-Sun Kim)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 학사
- 1983년 2월 : 인하대학교 기계공학과 석사
- 1994년 2월 : 인하대학교 기계공학 박사
- 1989년 7월 : 기계제작 기술사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수(현)

<관심분야>

자동차 새시 부품