

차륜형 전투차량 전복 시 승무원 안전성 확보를 위한 시뮬레이션 연구

이경수* · 정의진* · 박경진*†

* 한양대학교 기계공학과

Simulation of Rollover Crashes and Passenger Injury Assessment for a Wheeled Armored Vehicle

Gyung-Soo Lee*, Ui-Jin Jung* and Gyung-Jin Park*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

(Received December 23, 2013 ; Revised February 10, 2014 ; Accepted February 20, 2014)

Key Words: Wheeled Armored Vehicle(전투차량), Rollover(전복), Finite Element Model(유한요소모델), Nonlinear Dynamic Analysis(비선형동적해석), Head Injury Criterion(머리상해기준값)

초록: 차륜형전투차량은 보병부대의 전투력 강화와 기동성 향상을 목적으로 운용하는 군용차량이다. 전투차량은 운용 특성상 험난한 지형의 주행이 불가피하고 높은 무게 중심으로 인해 전복 사고의 위험성이 크다. 이러한 이유로 전투차량의 내부는 전복 사고에 따른 승무원의 안전성을 고려하여 설계해야 할 필요가 있다. 하지만 실제 차량을 이용한 시험은 현실적으로 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 차륜형전투차량의 전복 시험을 모사하여 승무원의 안전성을 측정하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 및 모델링 방법에 관한 연구를 수행한다. 본 논문의 연구 범위는 전투차량 전복 시험 조건, 전투차량 유한요소 모델링, 유한요소 인체 더미의 적용 방법, 전복 시험 시뮬레이션, 시뮬레이션 적용 시 발생 가능한 문제와 해결 방안 제시, 인체 상해치 계산 및 평가를 포함한다.

Abstract: A wheeled armored vehicle is a military vehicle that has been developed to enhance combat capabilities and mobility for the army. The wheeled armored vehicle has a high center of gravity, and it operates on unpaved and sloped roads. Therefore, this vehicle has a high risk of rollover crashes. To design the interior of the military vehicle, the crew's safety during rollover crashes is an important factor. However, actual vehicle tests for design are extremely expensive. In this paper, nonlinear dynamic analysis is performed to simulate the rollover crashes and the passenger injury is assessed for a wheeled armored vehicle. The scope of this research is the rollover condition, FE modeling of the wheeled armored vehicle and the dummy, arrangement of dummies, assessment of passenger injuries, and simulation model for rollover crashes.

1. 서론

차륜형전투차량은 차량 운용의 특성상 험난한 지형의 주행이 불가피하며 구조적으로 높은 무게 중심을 갖고 있다. 이러한 점이 차륜형전투차량의 전복 가능성을 높인다. 때문에 차량 운행 중 발생 가능한 전복 사고에 대비하여 탑승자를 보호할 수

있는 전투차량의 실내공간 설계가 필요하다. 그러나, 군용 차량은 상용차량과 달리 탑승자 보호를 위한 안전장치의 적용이 매우 제한적이다. 따라서 현재 차륜형전투차량의 설계안이 전복 사고 발생 시 승무원의 상해에 미치는 영향과 실내 안전성 확보 여부에 관한 연구가 필요하다.

전투차량의 실내 안전성 평가를 위하여 전복 시험을 반복적으로 수행하기에는 현실적으로 한계가 있다. 따라서 이러한 실제 차량 시험의 한계점을 극복하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 시험 방법의 정립이 필요하다.⁽¹⁾ 또한 전투차량을 대

† Corresponding Author, gjpark@hanyang.ac.kr
© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

상으로 한 기존의 전복 시험 사례나 규정이 없으므로 전복 시뮬레이션 조건을 정의할 필요가 있다. 그리고 승무원의 안정성을 평가하기 위한 방법의 정립도 필요하다.

본 논문에서는 한국, 유럽 대형차량의 자유낙하 전복 시험 기준^(2,3)을 참고하여 전투차량 전복 시험 방법을 정의하였다. 그리고, 전복 사고 시 인체 상해 및 사망에 관한 통계 자료^(4,5)를 분석하였다. 그 결과, 머리 상해가 전복 시 탑승자에게 가장 치명적인 부상 및 사망의 원인이 되는 것으로 나타났다. 따라서 탑승자의 상해 평가는 머리 상해치를 기준으로 하였고 측정방법은 머리상해기준값(HIC, Head Injury Criterion)을 이용한다.^(2,6,7)

위에서 정의한 자유낙하 전복 시험 방법으로 전복 조건을 모델링하여 비선형 동적 해석을 수행한다. 이 결과를 통해 승무원의 동적 거동 및 상해치를 분석하고 안전도를 평가한다. 또한 이렇게 정립된 자유낙하 전복 시험의 시험 특성을 확인하기 위하여 주행 중 발생 가능한 전복 상황을 시뮬레이션하고 인체 상해도 결과를 비교한다.

2. 전복 시험 기준 설정

현재 군용차량을 대상으로 한 전복 시험 관련 규정이나 사례는 존재하지 않기 때문에 전복 조건을 정의할 필요가 있다. 전투차량은 대형차량과 유사한 점이 있다. 이러한 이유로 대형차량 전복 시험 방법을 전투차량 전복 시뮬레이션에 적용한다. 대형차량 전복 시험은 한국의 자동차안전기준 제102조⁽²⁾와 유럽의 UN Regulation 66⁽³⁾에서 규정하고 있다.

대형차량 전복 시험 방법은 Fig. 1과 같이 경사면의 회전을 이용하여 차량의 무게중심이 가장 높은 위치에서 차량을 자유낙하시켜 시험한다. 본 시험은 차량에 인체 더미를 포함한 후 인체 상해치 평가를 시행하여 차량의 승객 안전성을 평가한다.

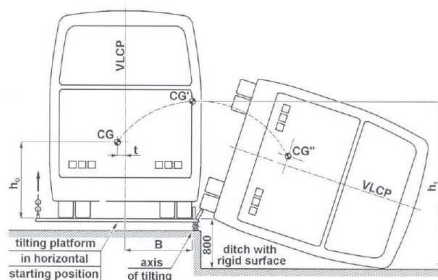


Fig. 1 Rollover regulation - UN regulation 66⁽³⁾

3. 인체 상해치 평가

3.1 전복 사고 시 인체 상해 통계 분석

호주의 NCIS(National Coroners Information System) 자료에 따르면 2000~2007년 호주 차량 전복 사망 사고 중 머리 상해로 인한 사망이 54.7%를 기록하고 있다.⁽⁴⁾ 미국의 1995~2003년 차량 전복 사고 통계자료에 따르면 전복 사고로 인한 중상 이상(AIS3+, Abbreviated Injury Scale)의 상해 원인 중 머리 상해는 좌석벨트 착용 시 35%, 좌석벨트 미착용 시 49%이다.⁽⁵⁾ 몸통과 팔, 다리 그리고 목과 척추의 상해 또한 전복 사고 시 중요한 상해 원인이 될 수 있으나 머리 상해의 비중이 가장 크다는 것을 알 수 있다.

위의 자료를 참고한 결과, 머리상해치가 전복 사고 시 가장 중요한 상해 원인이라는 것을 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 인체 더미의 머리 상해치를 측정해 승무원의 안전성을 판단한다.

3.2 머리 상해치 측정

전투차량의 전복 상황에서 승무원의 머리 상해를 측정할 때 ‘머리상해기준값(HIC, Head Injury Criterion)’을 사용한다. HIC는 세계 각국의 자동차 안전도 평가 시 머리 상해의 정도를 판단하는 가장 보편화 된 측정 방법이다.^(2,6,7) 머리상해기준값의 수식은 식 (1)과 같다. 본 논문에 기록된 머리상해기준값의 결과는 보안 관련 사항이므로 정확한 수치를 기록하지 않으며, 이를 대신하여 정규화가 이루어진 머리상해기준값을 사용한다.

$$HIC = \sup_{t_1, t_2} \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right\}$$

$$, a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

4. 자유 낙하 전복 시험

4.1 전복 조건 모델링

한국과 유럽의 대형차량 전복 시험을 시행하기 위해 Fig. 2와 같이 전투차량을 모델링 하였다. 빗면의 기울기를 조절하여 차량의 무게 중심이 가장 높은 위치에서 자유낙하 하도록 하였다. 낙하높이는 0.8m, 빗면의 각도는 실제 모델의 무게중심 위치를 반영하여 47°로 설정하였다. 바닥면은 낙하

시 차량에 가해지는 충격량과 밀접한 관계가 있다. 전투차량의 전복 시 가혹한 낙하 충격 상황을 고려하기 위하여 바닥은 강체로 모델링 하였다.

4.2 유한요소 해석 모델

4.2.1 전투차량 모델링

전투차량의 유한요소 모델은 실제 차량 설계에 포함된 재료 정보를 적용하여 Fig. 3과 같이 평균 크기가 40mm인 93,635개의 요소로 모델링 하였다. 전투차량 모델은 실내와 실외의 형상을 모두 포함하고 있으며 해석에 불필요한 실내의 부분 형상과 일부 중요한 설계 정보는 집중하중을 사용하여 표현하였다. 전투차량 유한요소 모델의 총 중량은 승무원 5인을 포함하여 19.37ton이며 이것은 실제 모델의 중량과 유사하다.

4.2.2 인체 더미 및 헬멧 모델링

본 연구에서 사용하는 인체 더미 모델은 Fig. 4와 같은 성인 남성 더미 모델(Hybrid III 95th percentile male dummy)이다. 성인 남성 더미의 유한요소 모델은 비선형 동적 해석 소프트웨어 프로그램 LS-DYNA⁽⁸⁾의 LSTC사에서 제공하는 188cm, 100kg의 인체 더미 모델이다. 이러한 유한요소 모델은 4,383개의 요소로 이루어져 있으며, 전투차량의 전복 해석에는 5인의 유한요소 더미가 사용되었다.

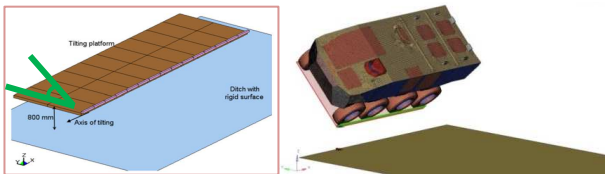


Fig. 2 Rollover condition of the drop test

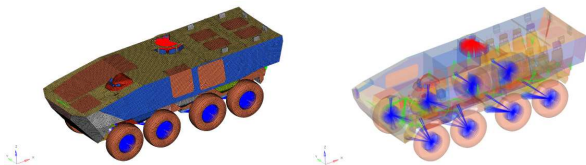


Fig. 3 FE model of a wheeled armored vehicle

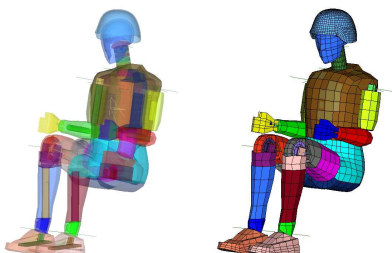


Fig. 4 Hybrid III 95th percentile male dummy

인체 더미에 포함된 헬멧은 시뮬레이션 영상에 포함하기 위하여 모델링 한 것이며 인체 상해치를 계산할 때 헬멧의 영향은 포함하지 않는다.

4.3 더미 배치 및 벨트 설정

인체 더미 5인을 고려한 전투차량의 전복 해석 시 더미의 위치는 Fig. 5와 같이 배치한다. 조종수(1번), 차장(2번), 승무원(3~5번)을 고려한 인체 더미의 배치는 전투차량의 모든 좌석에서 발생 가능한 더미의 거동 특성을 파악하기에 적합하다.

Fig. 6은 H형 4점식 좌석벨트의 장착 모습을 나타낸다. 4점식 좌석벨트는 전투차량의 모든 좌석에 적용되었다. 2012년 한양대의 연구⁽⁹⁾에 따르면, 다양한 벨트를 사용한 시뮬레이션 결과 H형 4점식 좌석벨트가 전복 상황 시 승무원의 측면 이동량을 제한하는 데 효과적이며, 정면에 위치한 승무원 간의 충돌을 방지하는 역할을 하는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구의 모든 인체 더미에는 H형 4점식 좌석벨트를 적용한다.

4.4 시뮬레이션 문제와 해결

차량과 지면의 첫 충돌 시 더미 머리와 좌석의 머리받침대 사이 그리고 벨트와 더미 어깨 사이에서 높은 하중이 발생하여 3차원 요소는 Negative volume 문제가 발생하기 쉽다. Fig. 7은 Negative volume 문제의 진행 과정이다. 3차원 요소에 짧은 시간 동안 높은 하중이 적용되면 Fig. 7의 마지막 그림처럼 하중을 받은 면이 맞은 편의 면과 역전하는 현상이 발생한다.⁽⁸⁾

Negative volume이 발생하는 요소의 두 면에 2차원 요소(Null shell element)를 생성하고 접촉조건을 정의한다. 이 두 면 사이에 접촉조건은 두 면이



Fig. 5 Location of the dummies for simulations

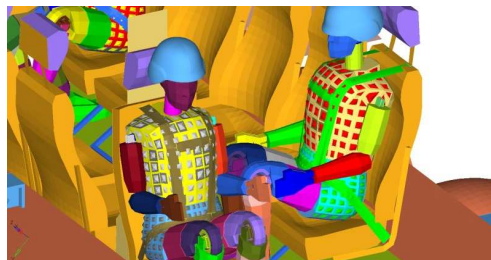


Fig. 6 Dummies with H-seatbelts

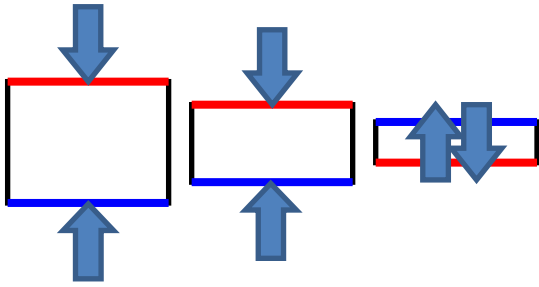


Fig. 7 Process of the negative volume



Fig. 8 Addition of an 1D-seatbelt element

역전하는 현상을 막으면서 Negative volume을 줄일 수 있다.

자유낙하 전복 시뮬레이션에서 쉽게 발견되는 또 다른 문제는 좌석벨트에서 발생한다. 좌석벨트는 1차원 요소와 2차원 요소로 구성된다. MAT_SEATBELT는 힘에 따른 1차원 요소의 변형량을 입력할 수 있어서 벨트의 신축성을 조절할 수 있다. 2차원 요소는 FABRIC을 표현하는 얇은 천을 표현한 것으로 에어백에서 많이 사용되는 명령어이다. 인장 하중에 의한 큰 변형을 표현하는데 적당한 물성값이며 좌석벨트의 천 부분을 표현하는데 사용되었다. 이러한 2차원 형상은 더미와의 접촉조건을 설정하는데 접촉면적을 제공한다.

이처럼 구성된 벨트는 인체 더미에 적용 시 두 가지의 해석상 문제가 쉽게 발생한다. 첫 번째 문제는 벨트가 어깨에서 벗어나는 현상이다. 조종석과 차장석 더미는 전복 충격 시 측면으로 움직이고 이 때문에 벨트가 어깨에서 벗어난다. 이러한 상황은 어깨 끝에 벨트가 걸려 응력이 집중되면서 Negative volume이 발생할 수 있다. 문제를 해결하기 위하여 Fig. 8과 같이 어깨 사이에 1차원 벨트 요소를 추가하여 모델링 하였다. 이러한 모델링에 의해 벨트가 어깨를 벗어나는 현상을 막을 수 있다.

두 번째 문제는 전복 충격 시 벨트가 접촉조건을 무시하고 더미 몸통을 통과하는 현상이다. 문제를 해결하기 위해서 두 가지 방법이 사용되었다.

Table 1 Result of the drop test (Normalized HIC)

	Driver No.1	Commander No.2	Crew No.3	Crew No.4	Crew No.5
HIC	0.38	0.33	0.28	0.27	0.21



Fig. 9 Inside view of the vehicle during the drop test

첫 번째 해결 방법은 접촉조건 명령어를 중복하여 사용하는 것이다. 두 번째 해결 방법은 2차원 요소의 너비를 늘려 더미와의 접촉면적을 늘리는 것이다. 접촉면적이 늘어나면 벨트의 응력이 분산되어 접촉조건을 무시하고 통과하는 현상뿐 아니라 어깨의 Negative volume도 해결할 수 있다.

4.5 결과

본 논문에서 사용한 머리상해기준값은 보안 관련 사항이므로 정확한 수치를 기록하지 않는다. 이를 대신하여 측정 결과를 특정 값으로 나눈 후, 정규화가 이루어진 머리상해기준값을 기록하였다. 이러한 정규화는 본 논문의 모든 시험 결과 표시에 동일하게 적용하였다. LS-DYNA 를 이용한 비선형 동적 해석 결과, Table 1 과 같은 인체 상해치를 산출하였다. Fig. 9 는 차체에 가장 큰 충격이 발생하는 1 차 낙하 충격 시 인체 더미 5 인의 거동을 나타낸다.

5. S-곡선 주행 시험

본 연구의 전복 상황 해석은 4장에서 소개한 바와 같이 전투차량의 자유낙하를 이용하여 승무원의 상해치를 측정하고 승무원 안전성을 판단한다. 그러나 이러한 시험 방법이 주행 중 발생하는 전복 사고와 유사성을 갖는지 확인할 필요가 있다. 본 시험에서는 주행 중 발생하는 전복 상황으로 S-곡선 주행 시험 시 속도에 따른 상해치 결과를 관찰한다. 그리고 자유낙하 시험 방법에 따라 산출된 인체 상해치와 S-곡선 주행 전복 시험에 의해 산출된 인체 상해치 간의 연관성을 평가한다.

5.1 전투차량 모델링

미국의 도로교통안전국(NHTSA, National Highway

Traffic Safety Administration)은 상용차량의 주행 전복 안전성 시험을 위하여 낚시 바늘 모양의 S-곡선 주행 시험(Fishhook test)을 실행하고 있다.⁽¹⁰⁾ S-곡선 주행은 720°/s의 조향핸들각속도를 사용하며, 270° 조향 후 반대 방향으로 540° 조향한다. 속도는 55km/h부터 75km/h까지 규정에 따라 주행한다.

본 시험에서는 주행 중 전복을 발생시키기 위해 마지막 540°로 조향한 상태를 유지함으로써 전복 상황을 설정한다. 이러한 전투차량의 곡선 주행 구현 및 전복 상황 발생을 위하여 LS-DYNA 모델링에서 Fig. 10과 같은 가이드레일을 사용한다. 가이드레일은 전투차량 주행 중 회전이 필요한 구간에 회전 반대 측 바퀴의 바깥쪽에 접촉을 발생시켜 계획한 주행 경로를 따라 주행할 수 있도록 하는 역할을 한다.

5.2 시뮬레이션 문제와 해결

S-곡선 주행 시험을 모델링하고 해석하는 과정에서 2가지 문제를 가지게 된다. 첫 번째는 차량을 정해진 커브로 주행시키는 문제이다. 차량 모델에 현가장치와 조향장치의 기능은 추가하지 않았다. 따라서 5.1장에서 설명한 것과 같이 초기 속도만을 이용하여 가이드레일을 따라 주행하는 모델링 방법을 사용하였다.

Fig. 11은 바닥과 가이드레일을 강체 요소로 모델링 한 것이다. 주행 중 초기 속도를 유지하기 위해 1번 구역에서 차량과 바닥, 가이드레일 간의 마찰은 제거한다. 전복 시 바닥과 전투차량 옆면이 충돌하며 이에 따른 구름마찰 계수는 0.06 ~ 0.20이다. 이 마찰 계수를 참고하여 더 가속한 전복 상황을 설정하기 위해 전복 가능성이 있는 2, 3번 구역의 바닥 마찰계수는 0.5로 설정 하였다. Fig. 11에서 붉은 원으로 표시된 부분은 전복이 자주 일어나는 구간이다. 이 구간은 1번 바닥에 속해 있어 마찰계수가 0.0이라는 문제를 가지고 있었다. 이 문제를 해결하기 위하여 0.5의 마찰계수

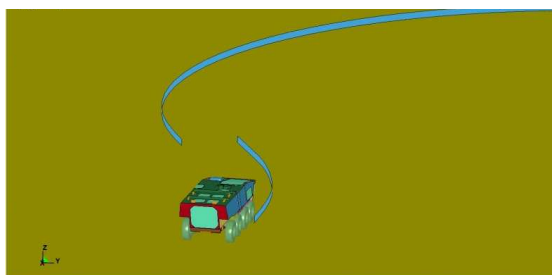


Fig. 10 Rollover condition of the S-curve driving

를 가지는 강체 요소를 마찰계수가 0.0인 1번 바닥보다 1mm 위에 Fig. 9와 같이 바닥면을 추가로 모델링하였다.

두 번째 문제는 탑승하는 더미 모델에 초기 속도가 부분적으로 적용되지 않는 것이다. 더미 모델의 팔과 다리가 몸통을 따라오도록 부분적으로 자유도가 제약된다. 따라서 제약된 부분에서는 초기 속도가 적용되지 않는다. 이러한 부분은 전체 더미 질량의 2/3에 해당한다. 그래서 더미를 차량에 탑승시킨 후 차량과 더미에 같은 초기 속도를 적용하면 해석 초기 의자와 더미 사이에 Negative volume이 발생하여 해석이 진행되지 않는다. 이 문제를 해결하기 위하여 더미에 적용하는 속도를 차량 속도의 3배로 정의하였다. 하지만 차량보다 높은 초기 속도로 인하여 더미가 차량과 같은 속도로 움직일 때까지 더미에서 높은 가속도가 발생한다. 이렇게 초기에 발생하는 가속도는 충돌에서 발생하는 가속도보다 높게 산출된다. 따라서 본 시험에서 필요로 하는 전복 시 상해치를 측정하기 위하여 0.0 ~ 0.5초의 해석 구간에서 나오는 상해치를 결과에서 제외하여야 한다.

5.3 결과

전복 충격에 따른 위치별 승무원의 거동을 살펴보면, 충격 전후 더미의 움직임 방향과 이동량 특성이 자유낙하 전복 시험에서의 거동과 크게 다르지 않음을 확인할 수 있다. S-곡선 주행 전복 시험의 인체 상해치 결과는 Table 2와 같다. 주행 속도 55km/h, 65km/h, 75km/h에 따른 인체 상해치 결과는 주행 속도의 증가에 따라 높아지는 경향을 보인다. 또한 자유낙하 전복 시험의 결과와 비교하여 볼 때, 자유낙하 전복 시험의 조건이 55km/h의 주행 중 전복 시험 보다 완만한 시험임을 확인할 수 있다. 이러한 관계는 Table 1, Table 2, Table 3의 내용 비교에서 확인할 수 있다. Table 3은 자유낙하

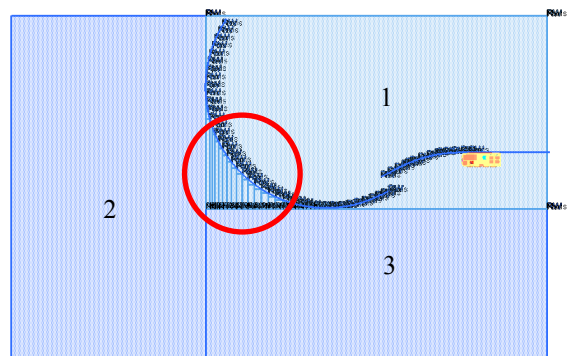


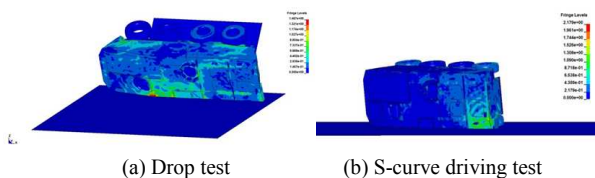
Fig. 11 Rigid-wall modeling for the S-curve driving

Table 2 Result of the S-curve driving test (Normalized HIC)

Velocity	55km/h	65km/h	75km/h
Driver No.1	0.55	0.77	1.09
Commander No.2	0.26	0.29	0.37
Crew No.3	0.29	0.32	0.35
Crew No.4	0.43	0.44	0.50
Crew No.5	0.35	0.38	0.51

Table 3 Acceleration of the vehicle at the first impact (Normalized Acceleration)

Test	Acceleration
Drop test	0.76
S-curve driving test (55km/h)	0.89
S-curve driving test (65km/h)	1.05
S-curve driving test (75km/h)	1.10

**Fig. 12** Stress contours at the first initial impact

시험과 S-곡선 주행 시험에서 발생하는 차량과 지면의 낙하 충돌 시 최대 가속도를 비교한 것이다. 낙하 충돌 시 최대 가속도는 머리상해기준값과 같은 이유로 정확한 수치를 기록하지 않으며, 정규화가 이루어진 값을 사용한다.

자유낙하 전복 시험과 주행 중 전복 시험에서 발생하는 승무원별 인체 상해치 크기 분포는 다소 다르게 나타난다. 그 이유는 Fig. 12에서 설명할 수 있다. 자유낙하 전복 시험의 경우 차량과 지면의 1차 충돌 시 차량의 좌측 중앙 상부에서 충격이 발생한다. 그러나 S-곡선 주행 시험은 차량과 지면의 충돌이 차량의 좌측 후방 상부에서 발생함을 확인할 수 있다. 이러한 차이 때문에 자유낙하 시험은 승무원 2, 3번이 승무원 4, 5번과 비교하여 높은 수치를 기록하였으며, S-곡선 주행 시험의 결과는 이와 반대되는 결과를 보인다. 이것은 시험 방식의 차이에 의한 특성으로 보인다.

6. 결 론

본 연구는 차륜형전투차량의 전복 상황 시 승무원 안전성을 평가하고 승무원 거동 특성을 분석하기 위한 전복 조건과 시뮬레이션 방법을 제시한다. 이러한 연구를 통하여 실제 차량 시험에 드는 비용과 시간을 효과적으로 줄일 수 있으며, 전투차량 설계 시 실내 안전성을 높이는 방안을 검토할 수 있고 수정된 새로운 설계안에 대한 재해석 시뮬레이션 모델링 상에 시행착오를 줄일 수 있다.

전투차량에 관한 전복 시험 사례가 없기 때문에 비슷한 조건을 가지는 대형차량 전복 시험 규정을 활용하여 자유낙하 전복 시험 조건을 설정하였다. 그리고 자유낙하 전복 시험 조건을 바탕으로 전투차량 모델의 전복 시험을 실시하고 승무원의 안전성을 평가하였다.

자유낙하 시험의 특성을 검증하기 위해 주행 중 발생 가능한 실제 전복 사고 상황을 시뮬레이션하고, 그 결과를 자유낙하 시험과 비교하였다. 주행 중 전복 상황은 미국 도로교통안전국의 S-곡선 주행 시험으로 정의하였다. 시험의 비교 결과, 55km/h, 65km/h, 75km/h의 S-곡선 주행 시험은 자유낙하 전복 시험의 결과와 비교하여 각각 승무원 상해치 평균 1.28배, 1.50배, 1.92배 높은 머리상해기준값을 기록하였다. 이것은 동일한 시험에서 발생하는 낙하 충돌 시 최대 가속도 값의 발생 비율인 1.17배, 1.38배, 1.45배와 경향을 같이함을 알 수 있다. 따라서 앞에서 정의한 자유낙하 시험 방법은 55km/h의 주행 중 전복 상황보다 완만한 전복 시험 조건임을 확인할 수 있다. 그리고 자유낙하 시험 방법이 주행 중 발생하는 승무원 거동 특성 및 인체 상해치 경향을 유사하게 반영함을 확인하였다. 자유낙하 시험 방법은 S-곡선 주행 시험보다 해석 시간이 적게 필요하며 해석을 위한 모델링도 간단하다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인하여 자유낙하 시험 방법은 실내 안전성을 높이기 위한 재설계 시 필요한 반복 시험에서 사용하기에 적당한 방법으로 판단한다.

본 논문은 전투차량의 전복 사고 해석을 위한 시험 방법을 정의하고 현재 전투차량 설계안에 대한 승무원 안전성을 평가하는 방법을 제시하였다. 이러한 시험 및 평가 방법의 정립은 앞으로 설계 개선을 위한 기초 자료로 활용할 수 있다. 다음 설계가 전투차량의 실내 안전성 향상을 목적으로 한다면, 앞에서 정의한 시험 방법을 토대로 최적 설계 기법을 적용할 수 있겠다. 향후, 승무원 좌석과 머리받침대 설계 시 형상최적설계 기법을 적용

하여 차량 경량화와 함께 승무원 안전성을 개선하는 연구가 추가로 수행되어야 하겠다.

후 기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0016364).

참고문헌 (References)

- (1) Oh, C. Y., Kim, H. D. and Song, J. H., 2002, "Development of a Finite Element Model for Studying the Occupant Behavior and Injury Coefficients of a Large-sized Truck," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 26, No. 8, pp. 1577~1584.
- (2) Korean Motor Vehicle Safety Standards, 2012, *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, Korea.
- (3) UN Regulation 66, 2010, *United Nations Economic Commission for Europe, European Union*.
- (4) Fréchède, B., McIntosh, A., Grzebieta, R. and Bambach, M., 2011, "Characteristics of Single Vehicle Rollover Fatalities in Three Australian States (2000-2007)," *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 43, No. 3, pp. 804~812.
- (5) Digges, K., Eigen, A. and Dahdah, S., 2005 "Injury Patterns in Rollover by Crash Severity," *Proc. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, Washington DC, USA, Paper05-0355.
- (6) FMVSS 208 Occupant Crash Protection, 2013, *National Highway Traffic Safety Administration*, USA.
- (7) European New Car Assessment Programme, 2012, *Euro NCAP*, Version 5.5.
- (8) LS-DYNA User's Manual Version 971, 2007, *Livermore Software Technology Corporation*, USA.
- (9) Kim, H. B., Lee, K. H., Lee, K. W., Kim, J. H., Lee, J. Y., Jung, U. J. and Park, G. J., 2012, "Analysis of Rollover Crashes and Passenger Injury Assessment for a Wheeled Armored Vehicle," *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 2694~2702.
- (10) A Demonstration of the Dynamic Tests Developed for NHTSA's NCAP Rollover Rating System, 2004, *National Highway Traffic Safety Administration*, USA.