

승용차용 프론트 사이드 조립체의 박판 두께 조정에 따른 붕괴모드 제어에 관한 역설계적 유한요소 충돌해석

김 용 우 · 김 정 호*

순천대학교 기계우주항공공학부

Crash FE Analysis of Front Side Assembly of Passenger Cars for Management of Collapse Shape Via Variation of Thickness with Reverse Engineering

Yong-Woo Kim · Jeong-Ho Kim*

Department of Mechanical Engineering, Sunchon National University, Chonnam 540-742, Korea

(Received 26 June 2007 / Accepted 12 September 2007)

Abstract : The goal of crashworthiness is an optimized vehicle structure that can absorb the crash energy by controlled vehicle deformations while maintaining adequate space so that the residual crash energy can be managed by the restraint systems to minimize crash loads transfer to the vehicle occupants. Front side assembly is one of the most important energy absorbing components in relating to the crashworthiness design of vehicle. The structure and shape of the front side assemblies are different depending on auto-makers and size of vehicles. Thus, it is not easy to grab an insight on designer's intention when you glance at a new front side member without experiences. In this paper, we have performed the explicit nonlinear dynamic finite element analysis on the front side assembly of a passenger car to investigate the effect of thickness distribution of the front side assembly on the collapse shape, which is important in the aspect of controlling deformation to maintain adequate space, from the viewpoint of reverse engineering. To do this, we have performed crash FE analysis for the assembly by varying the thickness distribution of the assembly.

Key words : Crash(충돌), Front side assembly(프론트 사이드 조립체), Finite element analysis(유한요소해석), Reverse engineering(역설계), Collapse shape(붕괴형상), Integrity of occupant compartment(객실의 보전)

1. 서 론

자동차 증가와 더불어 심각한 사회문제의 하나가 교통사고 피해라 할 수 있다. 이로 인하여 막대한 사회적, 경제적 손실을 입고 있다. 교통사고로 인한 사망자수의 거의 반이 자동차 승객들이 차지하고 있으며, 자동차 교통사고 사망자의 약 40%가 정면충돌에 의해 발생한다.

충돌에 관한 연구는 자동차 산업계 및 교통안전

분야에서 관심을 쏟고 있는 분야로서 차량의 구조적 안전성과 객실의 보전에 주안점을 두고 이에 대비한 설계 및 평가를 위해 행해지고 있다.

탑승자의 부상 정도는 충돌 세기와 밀접한 관련이 있으며, 탑승자가 있는 객실 공간을 충분히 유지하면서 구조물이 충돌 에너지를 흡수하는 능력과 직접적인 연관이 있다.

따라서 '어떻게 탑승자를 보호할 수 있는가'하는 것이 충돌문제 연구의 중요한 주제 중의 하나가 된다. 탑승자의 안전을 확보하기 위해, 충돌방지 시스

*Corresponding author, E-mail: kimstime@sunchon.ac.kr

템, 구속 장비, 차량 구조물의 충돌 에너지 제어 및 처리 능력, 재료 등 여러 분야의 연구가 이루어지고 있다.¹⁻⁶⁾ 충돌 설계를 위해 사용되는 주요 도구의 하나로 유한요소법을 들 수 있다.

본 연구에서는 외국 승용차의 프론트 사이드 조립체를 역설계적 기법으로 모델링하고 유한요소 해석을 실시하여, 프론트 사이드 조립체 주요 부품의 박판 두께 조정에 따른 에너지 흡수능력, 충돌하중, 변형속도, 응력분포 및 변형형상, 그리고 붕괴형상에 대하여 검토하고자 한다. 이를 위해 차량의 정면 충돌에너지를 가장 많이 흡수하는 부품중의 하나인 프론트 사이드 조립체를 대상으로 PAM-Crash 2G를 사용하여 유한요소 해석을 실시하였다.

2. 해석대상 및 셀 요소의 선택

프론트 사이드 조립체의 형태 및 부품은 차종마다 약간씩 다르거나 매우 다를 수 있다. 그러나 이들이 담당하는 역할과 목적은 대동소이하다. 본 연구에서는 외국산 승용차 프론트 사이드 조립체의 부품들을 3차원 스캐닝하여 도면을 얻고 이를 이용하여 유한요소해석 모델을 작성하였다. Fig. 1은 프론트 사이드 조립체로서 차체와 연결되는 부분으로 차체에 용접되는 부위를 모두 고정시키고 해석을 실시하였다.

각 프론트 사이드 조립체의 부품 중에서 인장시편을 채취할 수 있는 상태의 주요 부품에 대하여 인장시험을 실시하여 응력-변형률 곡선을 얻었다. Fig. 2와 같이, 응력이 영에서 최대 인장응력까지의 데이터에 대해 구간별로 선형적으로 가정하고, 각 구간의 응력값과 그 구간에서의 평균 기울기를 사

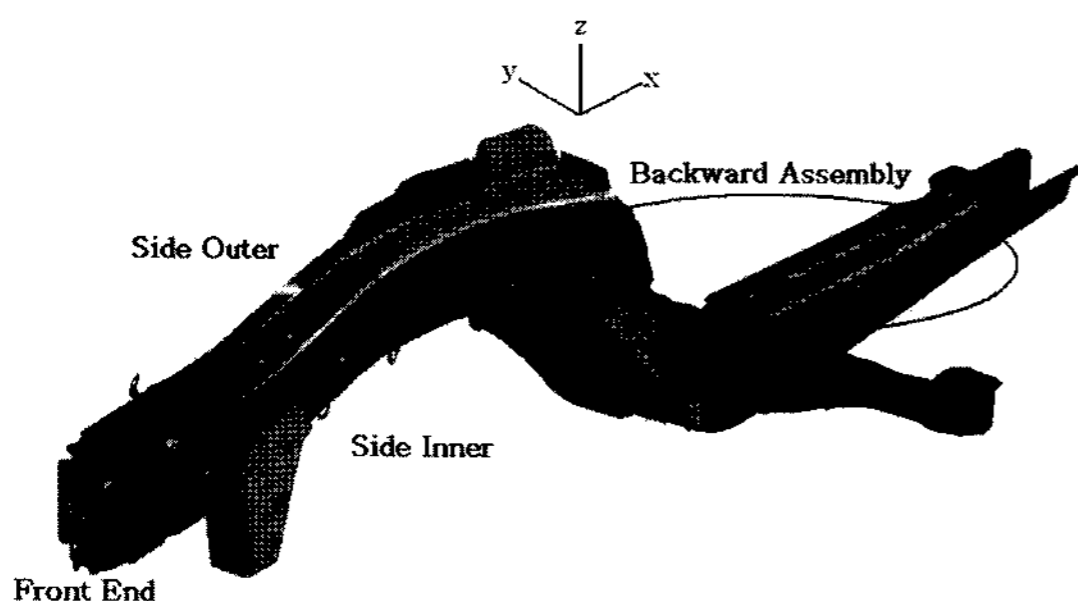


Fig. 1 Front side assembly

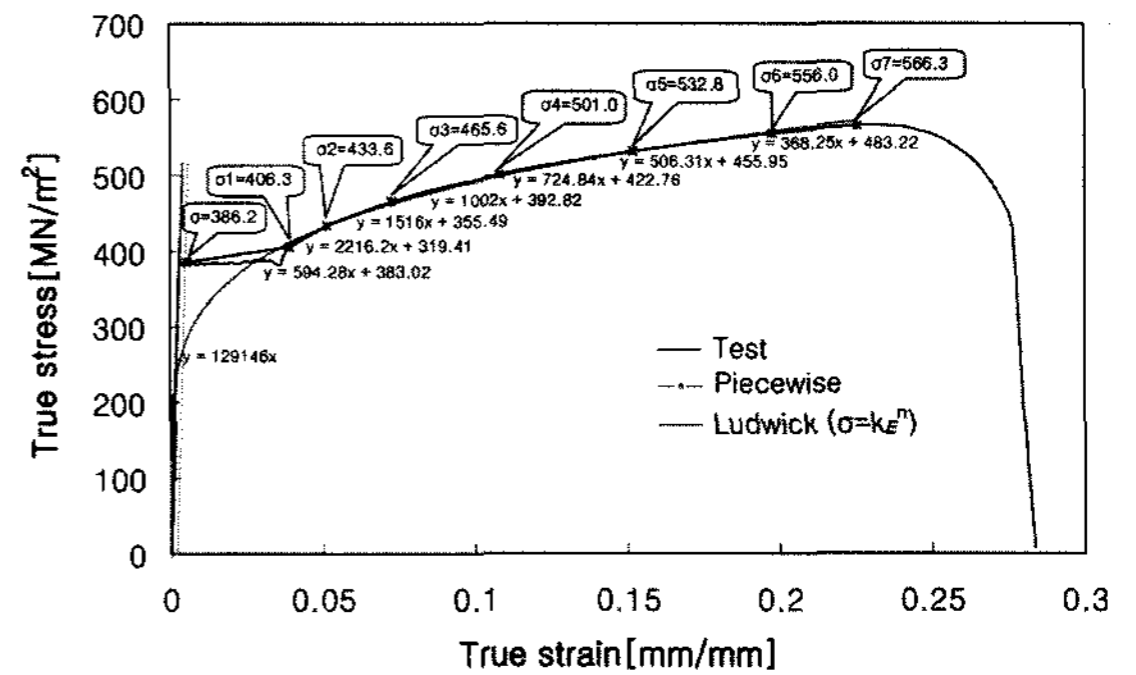


Fig. 2 Stress-strain curve of side outer(C1)

용하여 응력-변형률 곡선을 근사화하여 사용하였다. 나머지 부품에 대하여는 경도검사 및 조직검사를 실시하고 이와 유사한 강판의 응력-변형률 곡선으로 추정하였다.

본 연구에서는 충돌해석 전용 프로그램의 하나인 PAM-Crash 2G를 사용하였는데, PAM-Crash 2G는 4종류의 4절점 셀 요소를 제공하고 있다.⁷⁾

일반적으로 유한요소해석에서 변위를 기본으로 하는 경우 강성과잉 현상(locking phenomenon)과 가성에너지 모드(spurious energy modes or hourglass modes)는 동일한 원인에 기초하여 수치적분을 어떻게 하느냐 즉, 구체적으로 적분점을 몇 개로 취하느냐에 따라 강성과잉현상과 가성에너지 모드 중 하나가 두드러지게 나타나고 이로 인해 수치적 오차를 유발시키게 된다.

이에 관한 근본적인 해결방법은 변위함수를 변형률의 정의에 맞게 다시 가정하는 것이다. 이러한 관점에서 PAM-Crash 2G의 4종류 셀 요소 중, FBWC 셀 요소가 가장 결점이 없는 셀 요소로 판단된다.^{8,9)} 그러나 CPU time이 다른 셀 요소에 비해 더 길다는 단점이 있다. 본 연구에서는 정확한 해석 결과를 분석 검토하기 위하여 FBWC 셀 요소를 선택하여 사용하였다.

3. 역설계적 유한요소해석

Fig. 3과 같은 박판을 소성가공하여 용접한 승용차 프론트 사이드 조립체의 주요 부품(프론트 사이드 박판)의 두께 조정에 따른 붕괴형상을 파악하기 위하여, FBWC 셀 요소를 사용하여 Table 1과 같은 9가지 모델에 대하여 수치해석을 실시하였다. 충돌

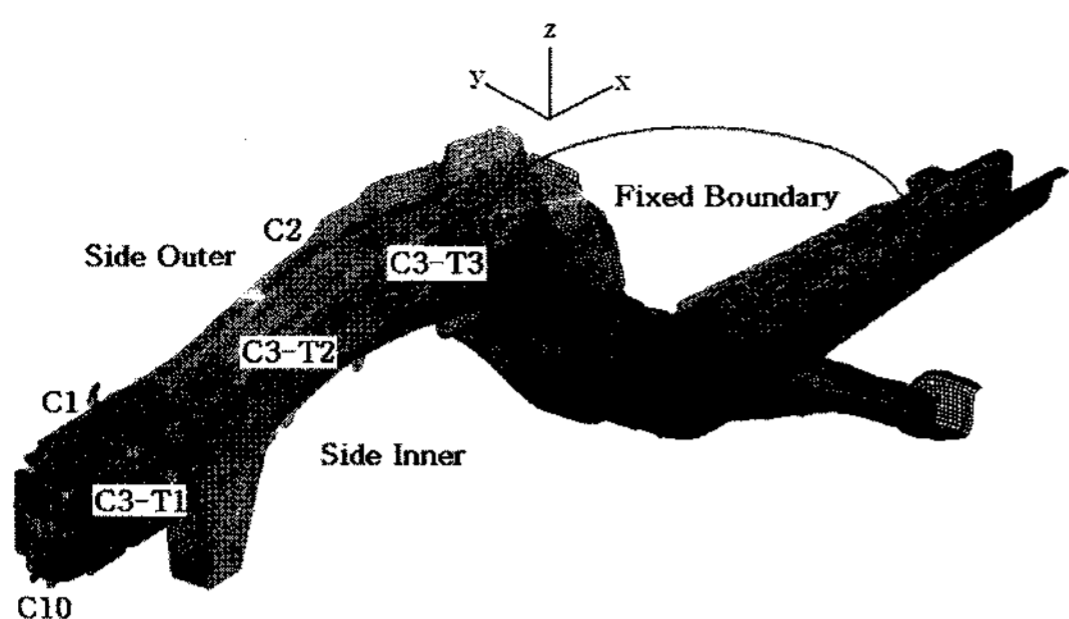


Fig. 3 Major parts concerned of the front side assembly

Table 1 Test models of the front side assembly

Parts and their thicknesses [mm]		Side inner		
		C3-T1 : 1.6 C3-T2 : 2.0 C3-T3 : 2.6	C3-T1 : 2.6 C3-T2 : 2.0 C3-T3 : 1.6	C3-T1 : 2.1 C3-T2 : 2.1 C3-T3 : 2.1
Side outer	C1 : 1.4 C2 : 2.0	r_510	r_520	r_530
	C1 : 2.0 C2 : 1.4	r_511	r_521	r_531
	C1 : 1.7 C2 : 1.7	r_512	r_522	r_532

하는 충돌체의 질량과 속도는 160kg과 50km/h로 각각 설정하여, 에너지 보존, 흡수에너지, 충격하중, 변형형상, Von Mises 응력분포, 변형속도분포 등을 검토하였다.

3.1 충격하중

프론트 사이드 조립체에서 앞부분의 주요 부재인 Side Inner(C3-T1, C3-T2, C3-T3)와 Side Outer 1(C1), Side Outer 2(C2)에 Table 1과 같이 두께 변화를 주어 해석을 수행하였다. 그 중에서 기존의 두께인 모델(r_510)과 충격을 가하는 x-방향을 따라서 두께 분포가 기존의 것과 역순인 모델(r_521) 그리고 평균 두께의 모델(r_532)에 대하여 충격하중(충격력) 특성을 Fig. 4에 비교하였다.

초기 2ms까지의 변형은 Front End(C10)에 연결되는 부재(C1과 C3-T1)에서의 접힘(folding)에 의한 변형으로 3가지 모델 모두 비슷한 양상의 충격력을 보인다. 이 후부터는 모델에 따라 충격력의 양태가 변화한다. 2ms 이후부터 최대 충격력이 나타날 때까지의 충격력 변화의 특징을 Table 2와 Table 3에 정리하였다.

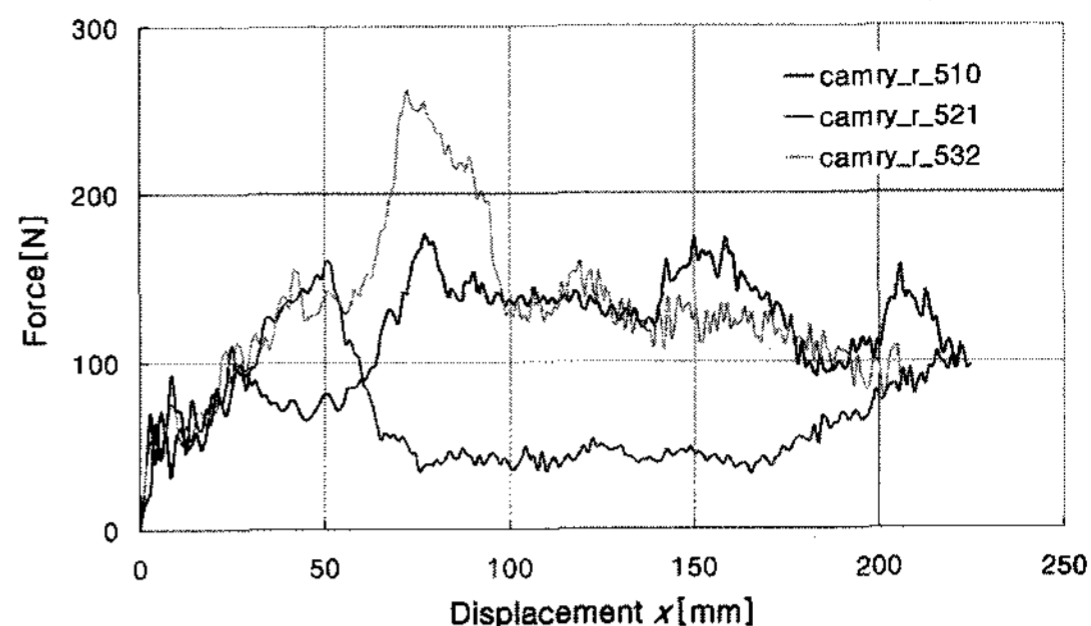


Fig. 4 Comparison of crash forces

Table 2 Maximum impact force and its behavior from initial impact up to maximum impact force

Model	Maximum impact force in the x-direction and the time and displacement x when it occurs	The behavior up to maximum impact force
r_510	175N (time 5.9ms, x=75mm)	increase after decrease
r_521	160N (time 4.0ms, x=50mm)	monotonic increase
r_532	260N (time 5.5ms, x=70mm)	quadratic increase

Table 3 The ratio of the components of impact force

Model	Time [ms]	Magnitudes of maximum impact force components			Ratio of $F_x : F_y : F_z$
		x-component (F_x)	y-component (F_y)	z-component (F_z)	
r_510	5.9	175N	60N	55N	3.2:1.1:1.0
r_521	4.9	160N	65N	60N	2.7:1.1:1.0
r_532	5.5	260N	80N	65N	4.0:1.2:1.0

Table 2에 정리한 바와 같이, 충돌 부분(C3-T1)의 두께가 두꺼울수록($r_{521} > r_{532} > r_{510}$), x-방향의 최대 충격력이 나타나는 시점이 빨라지는 경향을 보이며, 두께가 일정할 때 가장 큰 충격력을 보인다. 또한 최대 충격력이 나타날 때의 x-방향, y-방향, z-방향의 충격력 및 그 비는 Table 3에 보인 바와 같다.

일반적으로 굽힘강성이 클수록 축방향의 하중에 의해 굽힘 변형이 발생시키려면 축방향의 하중도 커야한다. 따라서 굽힘강성이 큰 부재일수록 축방향 하중에 대한 저항이 커지게 된다. 이러한 관점을 바탕으로 Table 3의 자료로부터 3가지 모델의 굽힘강성의 상대적인 크기는 $r_{532} > r_{510} > r_{521}$ 임을 알 수 있다. 최대 충격력 이후의 충격력 거동은 Table 4에 정리하였다.

일반적으로 충격을 받을 때 변형량(변형거리 x)

Table 4 The behavior of impact force in the direction of x after maximum impact force occurs

Model	The behavior after maximum impact force occurs
r_510	fluctuates around a constant force level after a drop to 130N or so
r_521	fluctuates around a certain level during time 5-15ms after a drop to 40N, and increases monotonically during time 15-20ms
r_532	fluctuates around 130N and decreases monotonically after a drop to 130N

이 증가함에 따라 충격하중이 일정하게 나타나는 것이 충격에너지를 효과적으로 많이 흡수하는 형태이다. 기존의 두께인 모델(r_510)과 평균 두께의 모델(r_532)은 어느 정도 이 형태를 만족시키고 있으나, x -방향의 두께 분포가 역순인 모델(r_521)은 충격하중이 급속히 감소하여 흡수되는 에너지의 총량이 적어질 것으로 예측된다. 결과적으로 기존의 모델(r_510)이 충격에너지 흡수에 효과적인 두께 분포의 조화를 이루고 있다고 할 수 있다.

3.2 흡수에너지

앞 절과 동일하게 기존의 두께인 모델(r_510)과 두께 분포가 역순인 모델(r_521) 그리고 평균 두께의 모델(r_532)에 대하여 충격에너지 흡수특성을 Fig. 5에 비교하였다. 변위 $x=200\text{mm}$ 에서의 변형에너지는 $r_{532} > r_{510} > r_{521}$ 의 순으로 두께가 균일한 경우 가장 큰 에너지 흡수량을 보인다. 이는 3.1 절에서 논의한 굽힘강성의 크기순서와 일치하며 최대 충격력의 크기 순서와도 일치한다. 변형 초기부터 변위 $x=100\text{mm}$ 까지, 변형에너지를 비교해 보면 $r_{532} > r_{521} > r_{510}$ 의 순서이나 그 이후부터는

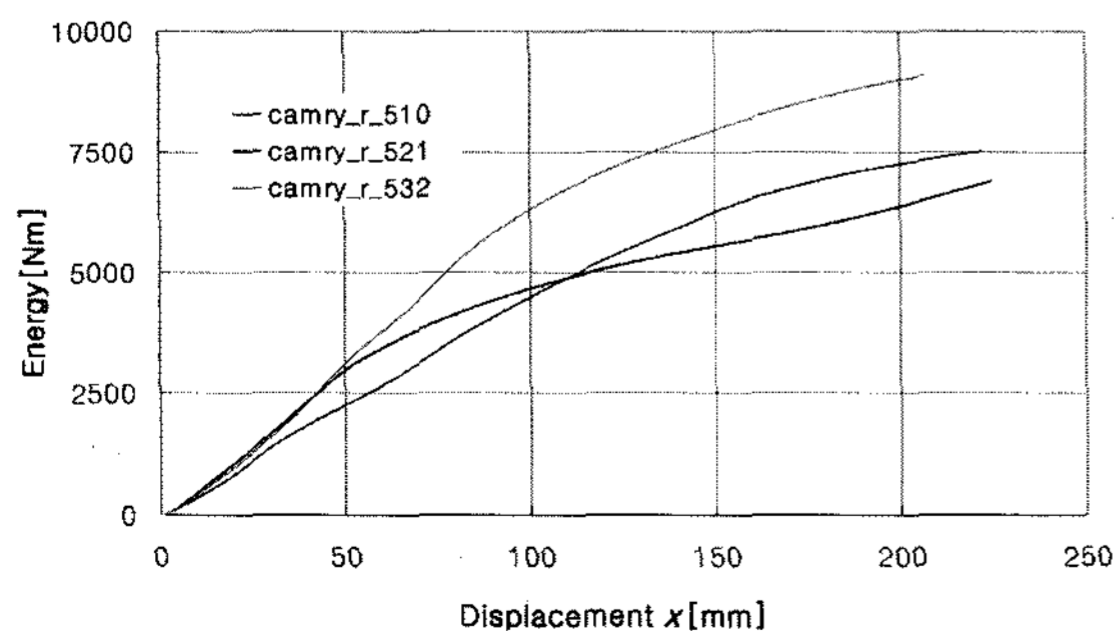


Fig. 5 Absorbed energies

Table 5 Energy absorption per unit mass

Model	Energy absorption per unit mass when time $t=20\text{ms}$
r_510	0.378[Nm/kg] at $x=222\text{mm}$
r_521	0.359[Nm/kg] at $x=225\text{mm}$
r_532	0.462[Nm/kg] at $x=207\text{mm}$

r_521과 r_510의 순서가 역전된다. 변형 초기부터 변위 $x=50\text{mm}$ 까지, r_532와 r_521의 흡수에너지는 거의 동일하다.

Table 5는 모델별 단위 질량당의 에너지 흡수량을 정리한 것이다. 변위 $x=200\text{mm}$ 에서의 단위 질량당 변형에너지도 $r_{532} > r_{510} > r_{521}$ 의 순으로 두께가 균일한 경우 가장 큰 에너지 흡수능을 보인다.

3.3 변형형상과 응력분포

기존의 두께인 모델(r_510)과 두께 분포가 역순인 모델(r_521) 그리고 평균 두께의 모델(r_532)에 대하여 변형형상을 비교하여 검토하였다. 3가지 모델 모두 변형 초기에는, FRT End(C10)에 연결되는 부재(C1과 C3-T1)의 접힘 모드(folding mode)로 변형이 시작된다.

기존의 두께인 모델(r_510)의 경우, 초기부터 FRT End(C10)에 연결되는 부재의 접힘 모드(folding mode)와 굽힘 모드(bending mode)가 함께 진행되면서, 충격력이 작용하는 위치가 충돌전의 프론트 사이드 조립체 전체의 중심축 바깥쪽(+ y 축)으로 이동하게 되어 12~13ms 사이에 C3-T2와 C3-T3의 경계부분 앞쪽을 중심으로 굽힘(격임) 변형을 일으킨다. 이로 인해, C3-T2와 C3-T3의 경계부분 앞쪽에 소성 힌지가 형성되고 이 소성 힌지를 중심으로 바깥쪽으로 휘어진 형상이 된다(Fig. 6(a) 참조).

두께 분포가 역순인 모델(r_521)의 경우, 초기부터 FRT End(C10)에 연결되는 부재의 접힘 모드와 굽힘 모드가 함께 진행되면서, 충격력이 작용하는 위치가 충돌전의 프론트 사이드 조립체 전체의 중심축 바깥쪽으로 이동하게 되어, Fig. 6(b)와 같이 C3-T2와 C3-T3의 경계부분과 그 앞쪽을 중심으로 지그재그(zigzag) 형상의 심한 굽힘(격임) 변형을 일으킨다.

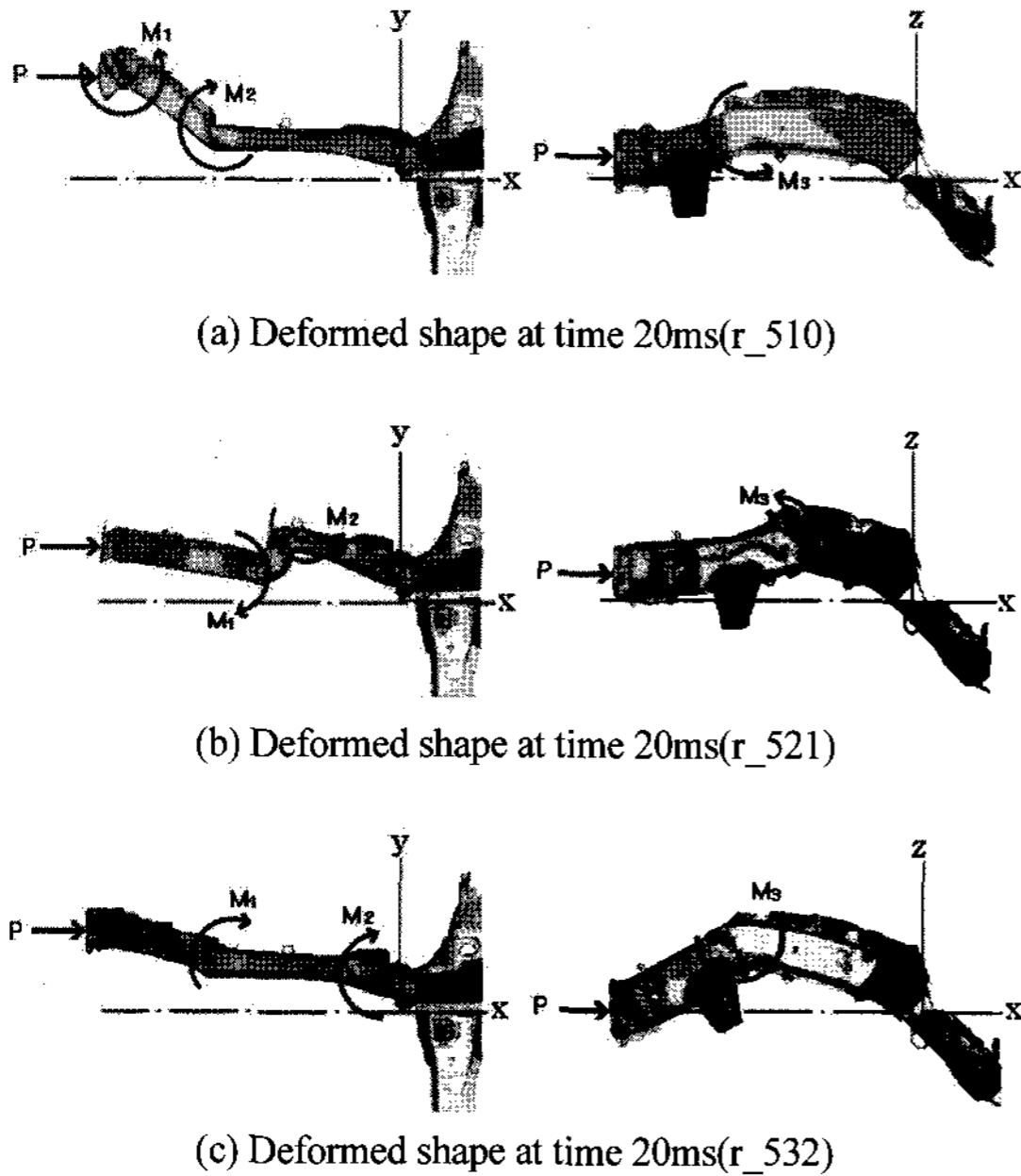


Fig. 6 Comparison of deformed shapes at time 20ms, where P and M denote impact force and moment, respectively

평균 두께의 모델(r_532)의 경우, 초기부터 FRT End(C10)에 연결되는 부재의 접힘 모드와 굽힘 모드가 함께 진행되면서, 충격력이 작용하는 위치가 충돌전의 프론트 사이드 조립체 전체의 중심축 바깥쪽으로 이동하게 되어, Fig. 6(c)와 같이 C3-T2와 C3-T3의 경계부분과 그 앞쪽을 중심으로 프론트 사이드 조립체가 위로(+z축) 볼록하게 굽는 굽힘 변형을 일으킨다. 이러한 굽힘 변형은 객실 앞쪽 아래 부분에 해당되는 부분까지 영향을 미쳐 큰 응력을 발생시키는 단점을 보인다.

프론트 사이드 조립체는 4각형 박스 실린더(box cylinder) 형상으로, Side Inner는 엔진 룸 안쪽으로 위치하면서 단면이 C-자 형태로 되어 있으며 Side Outer는 엔진 룸 바깥쪽을 향하여 단면의 형상을 모자형이 되도록 부착되어 있다. 그런데 실제의 프론트 사이드 조립체(r_510)의 경우, Side Inner의 두께가 Side Outer의 두께보다 두꺼워 프론트 사이드 조립체는 엔진 룸 안쪽보다는 바깥쪽으로 쉽게 휘도록 설계되어 있다.

각 부재의 두께를 변화시킴으로써 다양한 최종 변형형상을 얻을 수 있다. 이는 설계자가 원하는 접힘(붕괴) 과정의 최종 변형형상을 부재의 두께의 변

화를 주어 제어할 수 있음을 의미한다.

전체적인 Von-Mises 응력분포를 비교해 보면 충돌의 초기에는 FRT End(C10) 부분에서 높은 응력이 발생하여 뒷부분으로 전파되는 형태로 변형이 진행되고 있다. 전체적으로는 응력이 높은 부분은 경계 조건이 주어진 Side Inner와 Side Outer 조립체의 뒷부분 전면에 고르게 분포하고 있다. 다만, 조건에 따라 경계나 굴곡이 있는 부분에서 응력이 집중하여 변형이 유도되고 접힘(붕괴)과 굽힘(격임)이 발생하고 있다.

기존의 두께인 모델(r_510)은 FRT End(C10) 부분부터 응력이 집중하여 접힘 모드가 진행되고, 후반부에 Side Outer 2(C2) 부재의 굴곡이 있는 부분에 응력이 집중하면서 굽힘이 발생하고 바깥쪽으로 진행되었다(Fig. 7(a) 참조).

프론트 사이드 부재의 두께분포가 역순인 모델(r_521)은 Side Inner(C3-T2, C3-T3) 경계와 Side Outer 2(C2) 굴곡이 있는 부분 그리고 Side Outer 2(C2)와 Side Inner(C3-T3) 뒷부분에서 과도한 응력 집중이 나타나 굽힘 모드에 의한 접힘이 발생하였다(Fig. 7(b) 참조).

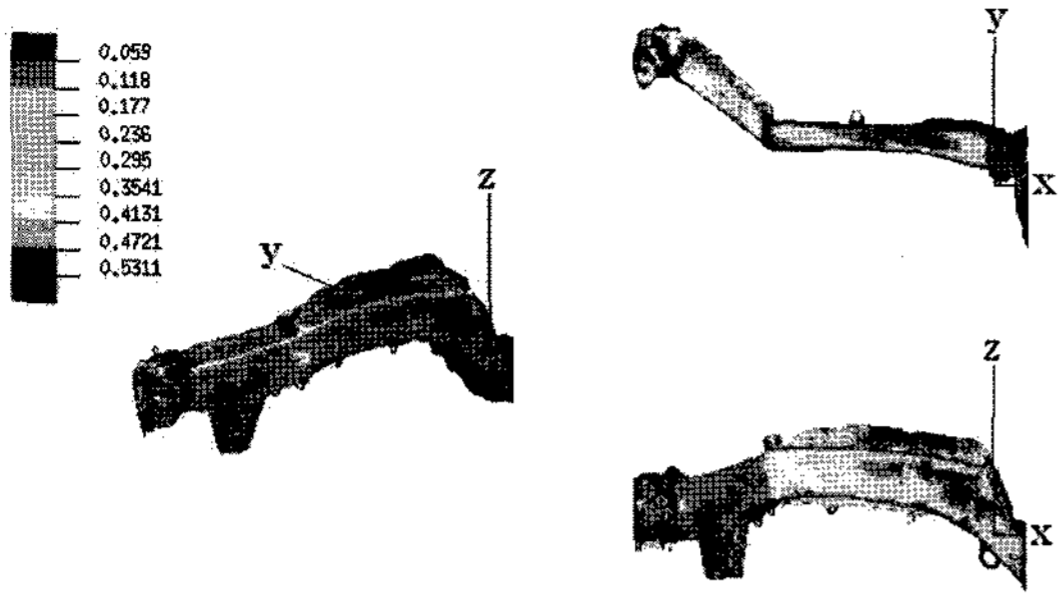
평균 두께의 모델(r_532)은 초반에는 기존의 두께인 모델과 동일하게 진행하나 Side Outer 2(C2)와 Side Inner(C3-T3) 뒷부분에 응력집중이 발생하지만 전체적인 분포는 기존의 두께 모델(r_510)과 유사하게 나타났다(Fig. 7(c) 참조). 뒷부분에 나타나는 이러한 응력집중은 객실의 보전이라는 관점에서 단점이 될 수 있다.

3.4 변형속도분포

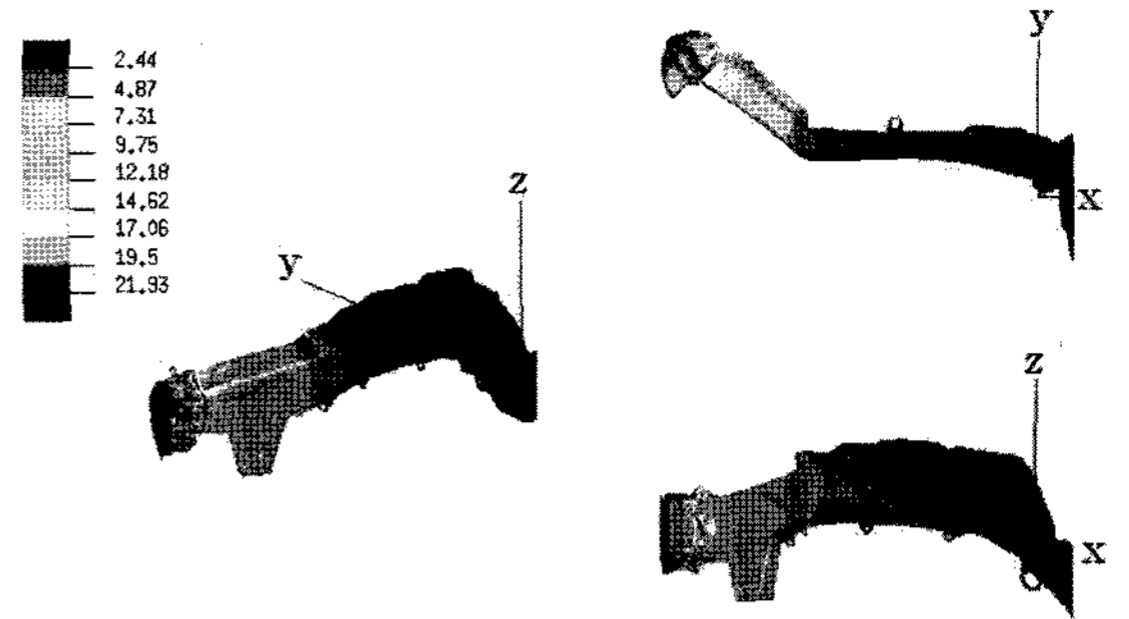
변형속도분포는 충돌 초기에 부재의 앞부분이 변형속도가 빠르며 다른 부분의 변형속도는 작게 나타났다. 전체적으로 충돌 초기에 접힘이 발생하며 안정적으로 변형이 일어나고 있어서 뒷부분에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

기존의 두께인 모델(r_510)은 FRT End(C10) 부분부터 빠르게 접힘 모드가 진행되고, 후반부에 Side Outer 2(C2) 부재의 굴곡이 있는 부분에 굽힘이 발생하면서 바깥쪽으로 빠르게 진행되었다(Fig. 8(a) 참조).

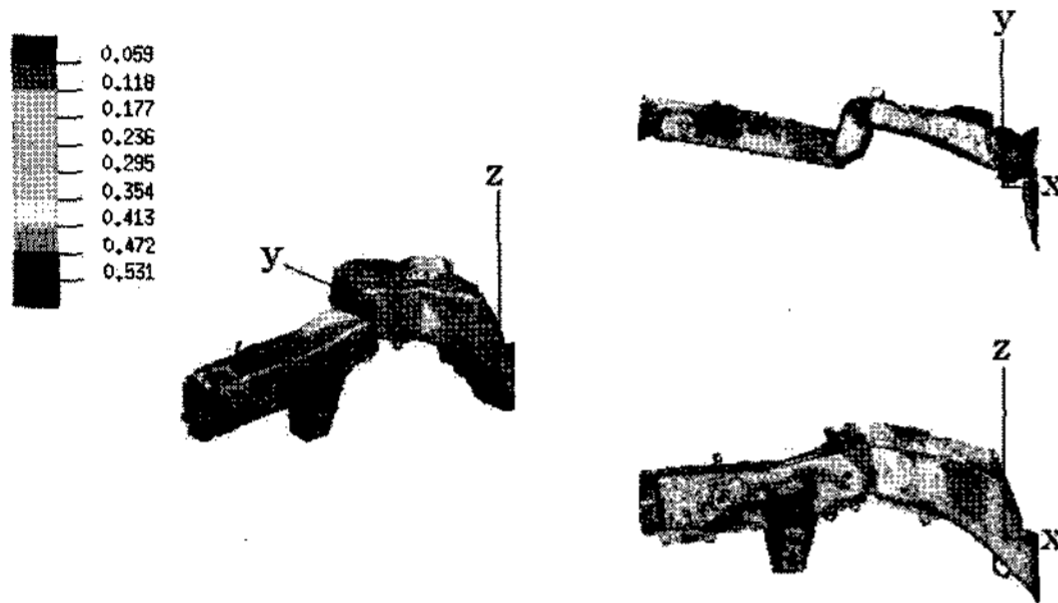
두께 분포가 역순인 모델(r_521)은 충돌 초기에는



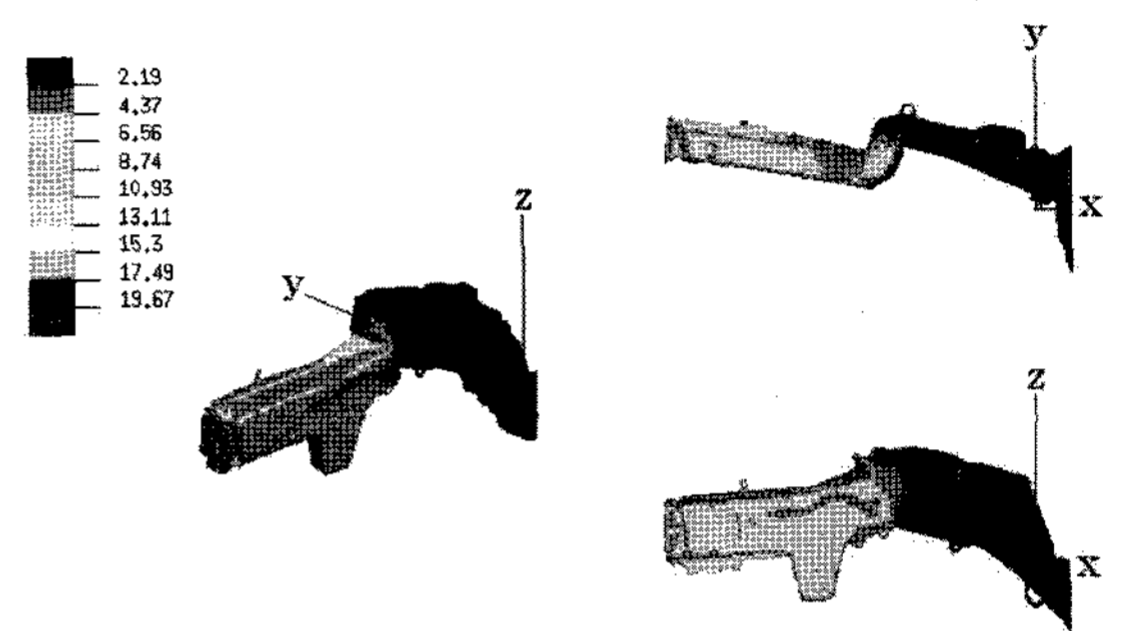
(a) Von-Mises stress distribution at time 20ms(r_510)



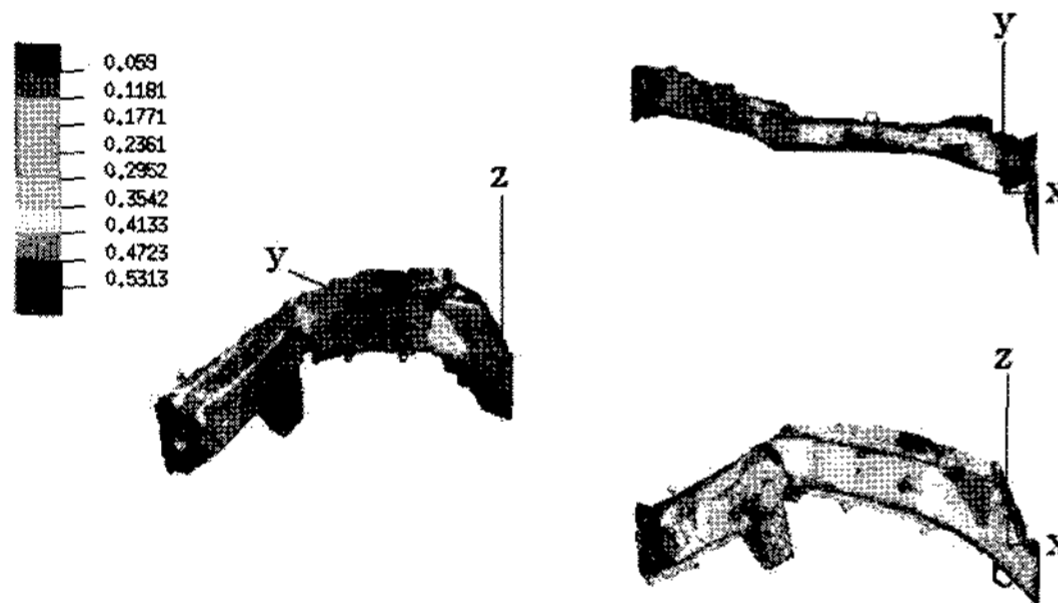
(a) Distribution of velocity at time 20ms(r_510)



(b) Von-Mises stress distribution at time 20ms(r_521)

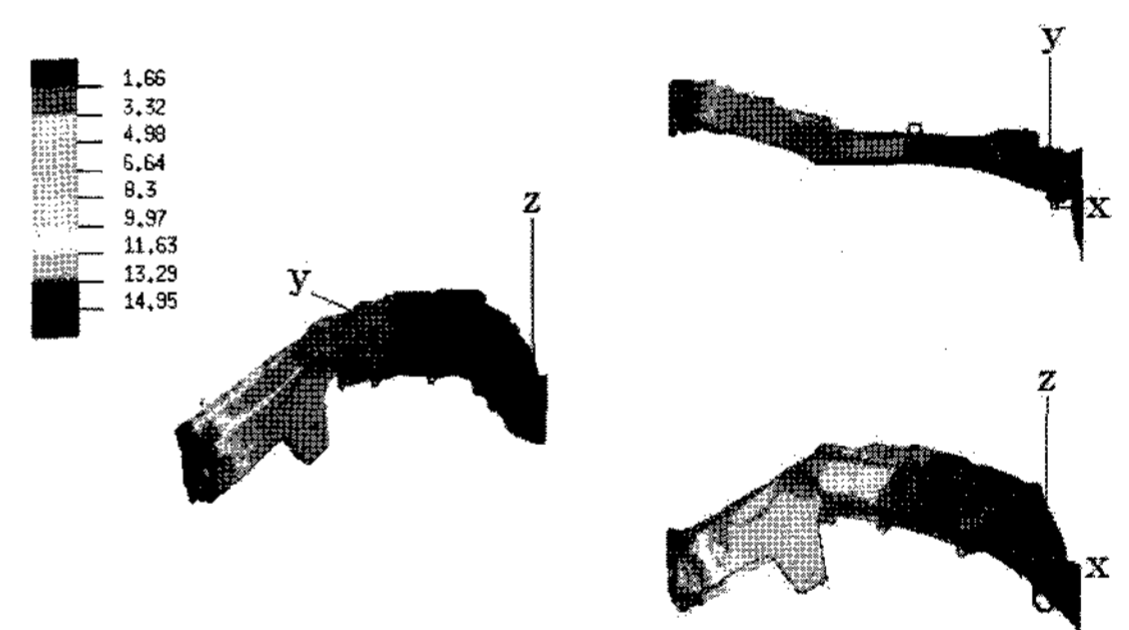


(b) Distribution of velocity at time 20ms(r_521)



(c) Von-Mises stress distribution at time 20ms(r_532)

Fig. 7 Comparison of Von-Mises stress distributions at time 20ms



(c) Distribution of velocity at time 20ms(r_532)

Fig. 8 Comparison of distributions of velocity at time 20ms

다른 모델과 동일하지만, Side Inner(C3-T2, C3-T3) 경계와 Side Outer 2(C2) 굴곡이 있는 부분 그리고 Side Outer 2(C2)와 Side Inner(C3-T3) 뒷부분에서 굽힘 모드에 의한 접힘이 발생하면서 변형이 빠르게 진행하였다(Fig. 8(b) 참조).

4. 종합적 검토

프론트 사이드 조립체의 구조가 지니는 설계 의도 및 붕괴 과정의 제어 가능성에 대해 역설계적인 관점에서 검토하였다. 이를 위해 3가지 모델(형상은

동일함)을 설정하고 그에 따른 해석과 검토를 실시하였다.

4.1 변형과정 및 최종 붕괴형상

기존의 제품 모델(r_510)은 충돌과 함께 앞부분의 접힘이 시작되면서 동시에 앞부분에 굽힘이 발생하도록 설계되어 있으며 마지막에는 C3-T2와 C3-T3의 경계부분 앞쪽에서 소성 힌지가 형성되고 이 소성 힌지를 중심으로 엔진 룸 바깥쪽으로 휘어지도록 설계되어 있다.

기존의 제품과 두께 분포가 역순인 모델(r_521)의

경우, 초기부터 FRT End(C10)에 연결되는 부재(C1, C3-T1)에 접힘 모드와 굽힘 모드가 함께 진행된다면, 충격력이 작용하는 위치가 충돌전의 프론트 사이드 조립체 전체 중심축의 바깥쪽으로 이동하게 되어, C3-T2와 C3-T3의 경계부분과 그 앞쪽을 중심으로 지그재크(zigzag) 형상의 심한 굽힘 변형을 일으킨다.

평균의 균일 두께를 갖는 모델(r_532)의 경우, 초기부터 FRT End(C10)에 연결되는 부재에 접힘 모드와 굽힘 모드가 함께 진행된다면, 충격력이 작용하는 위치가 충돌전의 프론트 사이드 조립체 전체 중심축의 바깥쪽으로 이동하게 되어, C3-T2와 C3-T3의 경계부분 앞쪽을 중심으로 프론트 사이드 조립체가 위로(+z축) 블록하게 굽힘(꺾임) 변형을 일으킨다. 이러한 굽힘 변형은 객실 앞쪽 아래 부분에 해당되는 부분에까지 영향을 미쳐 큰 응력을 발생시키는 단점을 보인다.

4.2 충격력 및 에너지흡수 능력의 관점

위의 3가지 모델은 각기 다른 특유의 붕괴 과정과 붕괴 형상을 보여준다. 따라서 충격력 및 에너지흡수 능력도 각각 다른 경향을 보이고 있다. 이에 대해 3가지 모델을 검토하면 다음과 같다.

굽힘강성이 클수록 축방향의 하중이 커야 굽힘 변형이 발생하게 된다. 따라서 굽힘강성이 큰 부재일수록 축방향의 접힘(붕괴) 변형을 유도하는 경향을 보이며, 축방향 하중에 대한 저항이 커지게 된다. 이러한 관점을 바탕으로 3가지 모델의 최대 충격력과 에너지흡수력을 비교해보면 그 순서가 일치하고 있다. 즉, 최대 충격력이 크면 단위 질량당의 에너지흡수 능력도 증가하고 있다.

충돌부분(C1, C3-T1)의 두께가 두꺼울수록($r_{521} > r_{532} > r_{510}$), x-방향의 최대 충격력이 나타나는 시점이 빨라지는 경향을 보인다.

변위(x)에 따른 충격력의 크기 분포는 기존의 제품이 에너지흡수 능력을 높일 수 있는 가장 효과적인 분포를 보인다. 반면에 두께의 분포가 역순인 모델(r_521)의 경우 최대 충격력 이후의 충격력이 급감함으로써 에너지흡수 능력이 떨어지며, 균일 두께 모델(r_532)의 경우 최대 충격력이 너무 크며 동

시에 최대 충격력 이후의 충격력이 급감한다는 단점이 있다.

4.3 변형속도분포 및 응력분포의 관점

모델의 강성분포가 다름으로 인해 붕괴 과정과 최종 붕괴 형상이 다르다. 그러나 공통적으로 접힘 및 굽힘이 발생하는 부분에서 응력집중이 발생하며 그 순간의 변형속도도 순간적으로 가장 높아진다.

3가지 모델 중 두께가 균일한 모델(r_532)의 경우가 가장 에너지흡수 능력이 뛰어나다. 그러나 객실의 앞쪽 아래 부분에 해당하는 프론트 사이드 조립체에 큰 응력과 변형이 발생한다. 이는 객실의 보전이라는 관점에서 볼 때 불리한 위험 요소를 안고 있다.

5. 결론

기존의 모델은 여러 관점에서 비교적 양호한 결과를 보이는 구조이다. 두께의 분포가 기존의 것과 역순인 모델의 경우 두께가 균일한 것에 비교하여 에너지흡수 능력이 낮으며, 두께가 균일한 모델의 경우, 에너지흡수 능력은 우수하나 객실의 보전 측면에서 위험요소를 안고 있다. 모델에 대한 시뮬레이션 결과는 두께의 변경을 통해 붕괴 과정 및 최종 붕괴형상, 충격력의 이력(time history), 충돌에너지흡수 능력 등을 제어할 수 있음을 보여준다.

후 기

이 논문은 2006년도 교육인적자원부의 지방대학 혁신역량 강화사업(NURI)에 의해 지원되었음.

References

- 1) J. Belwafa, "Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection," Great Designs in Steel 2004, Seminar Presentations, American Iron and Steel Institute, 2004.
- 2) S. R. Veeramallu, "Collision Avoidance Systems," 2000 MTC Transportation Scholars Conference, pp.173-183, 2000.
- 3) Report: Task 4.6 State-of-art Review - Vehicle Structural Crashworthiness, European Vehicle Passive Safety Network 2, 2004.

- 4) H. Kurtaran, A. Eskandarian, D. Marzougui, and N. E. Bedewi, "Crashworthiness Design Optimization Using Successive Response Surface Approximation," *Computational Mechanics*, Vol.29, pp.409-321, 2002.
- 5) J. H. Lim, J. M. Lim and H. I. Bae, "Development of B.I.W Crash Test and Simulation Technique for Simulation Accuracy Improvement," 10th HanPAM 2004 Users Conference in Korea, pp.93-100, 2004.
- 6) P. D. Bois, C. C. Chou, B. B. Fileta, T. B. Khalil, A. I. Crashworthiness and Occupant Protection, King, H. J. Mertz, and J. Wismans, Vehicle American Iron and Steel Institute, 2004.
- 7) PAM-Crash/Safe Users and Theory Manual, Version 2004, ESI Group, France, 2000.
- 8) Y. W. Kim, J. H. Kim and K. S. Jeong, "Crash FE Analysis of Front Side Assembly for Reverse Engineering," *Transactions of KSAE*, Vol.15, No.1, pp.89-98, 2007.
- 9) Y. W. Kim, J. H. Kim and K. S. Jeong, "Crash FE Analysis of Front Side Assembly of Passenger Cars for Identifying the Roles of Major Parts Influencing on Collapse Mode with Reverse Engineering," *Transactions of KSAE*, Vol.15, No.4, pp.33-40, 2007.