Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 3, pp.22-27 (2006)

Copyright © 2006 KSAE
1225-6382/2006/081-03

고강도 강판 ULSAB-AVC 모델과 일반강판 모델의 충돌성능 비교 평가

윤 종 헌[1] · 허　훈[*1] · 김 세 호[2] · 김 홍 기[3] · 박 성 호[3]

한국과학기술원 기계공학과[1] · 대구대학교 자동차 산업 기계공학부[2] · POSCO 기술연구소[3]

Comparative Crashworthiness Assessment of the ULSAB-AVC Model with Advance High Strength Steel and with Low Strength Steel

Jongheon Yoon[1] · Hoon Huh[*1] · Seho Kim[2] · Hongkee Kim[3] · Seungho Park[3]

[1]*Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea*

[2]*School of Automotive, Industrial and Mechanical Engineering, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea*

[3]*POSCO Technical Research Laboratories, 699 Cumho-dong, Gwangyang-si, Jeonnam 545-090, Korea*

(Received 15 June 2005 / Accepted 10 February 2006)

Abstract : As the regulation and assessment program for safety of passengers become stringent, automakers are required to develop lighter and safer vehicles. In order to fulfill both requirements which conflict with each other, automobile and steel companies have proposed the application of AHSS(Advance High Strength Steel) such as DP, TRIP and martensite steel. ULSAB-AVC model is one of the most remarkable reactions to offer solutions with the use of steel for the challenge to improve simultaneously the fuel efficiency, passenger safety, vehicle performance and affordability. This paper is concerned with the crash analysis of ULSAB-AVC model according to the US-SINCAP in order to compare the effectiveness between the model with AHSS and that with conventional steels. The crashworthiness is investigated by comparing the deformed shape of the cabin room, the energy absorption characteristics and the intrusion velocity of a car.

Key words : Crashworthiness(충돌성능), Side impact analysis(충돌해석), ULSAB-AVC(Ultralight Steel Auto Body Advanced Vehicle Concepts), AHSS(고강도 강판), US-SINCAP(북미 측면충돌 상품성 시험)

1. 서 론

차량 경량화는 에너지 절감의 필요성과 세계적으로 강화되고 있는 배기가스 규제 등에 대응하기 위하여 절실히 요구되는 과제이다. 대표적인 예로 ULSAB-AVC(Ultra Light Steel Auto Body - Advanced Vehicle Concepts)는 국제철강협회(IISI) 주도하에 차량 경량화 및 에너지 절감의 요구를 실현시키기 위하여 차체용 강판의 85% 이상을 고강도 강판으로 대체하는 시도를 하였으며 하이드로포밍과 테일러 용접 블랭크 등의 신 성형기법을 이용하여 부재의 강도확보 및 부품 수를 최소화하는 경량화를 달성하였다. 이러한 추세와 더불어 차량의 안전성 확보에 대한 관심이 늘어나고 있으며 엄격한 법규의 제정이 이루어지고 있는 실정이다. 실제로 자동차 업계의 경우 개발된 차량을 국외로 수출하기 위해서는 각국의 충돌안전 규제를 통과하여야만 해당국가로의 수출이 가능할 뿐 아니라 상품 가치를 높이기 위하여 충돌 상품성 시험에서도 좋은 점수를 얻어

*Corresponding author. E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

야 하는 상황이다. 이렇게 상반되는 경량화 및 충돌성능 향상을 동시에 얻기 위한 대안으로는 구조적인 최적설계 부분과 고강도 강판의 적용 및 TWB, 하이드로포밍, 프레스 경화 등의 기술을 이용한 신성형기법의 적용을 통하여 가능하다.

본 논문에서는 ULSAB-AVC 연구과제에 사용된 실차 해석모델을 이용하여 기존 일반 강판이 적용된 차체와 고강도 강판이 적용된 차체의 측면 충돌해석을 수행하고 고강도 강판을 적용하였을 경우의 충돌성능 및 효용성을 일반 강판을 적용하였을 경우와 비교하여 정량적으로 확인하였다.

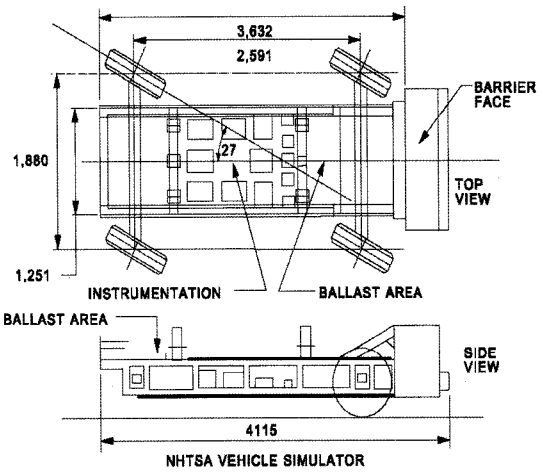
2. 측면충돌 시험법

해석에 적용된 시험법은 미교통부(US DOT) 산하의 도로교통 안전청(NHTSA)의 FMVSS 214D에 기초한 측면충돌 신차평가 프로그램인 SINCAP(Side Impact test for New Car Assessment Program)을 이용하였다. 이 시험법은 Fig. 1과 같이 규정된 이동대차(MDB: Moving Deformable Barrier)가 27°의 경사를 유지하여 61.96(km/h)의 속도로 차체와 충돌하게 된다. 대차의 총 중량은 1,361(kg)이며, 차체와의 충돌시 Fig. 2와 같이 규정화된 수직, 수평 충돌선상에 정렬시킨 후 충돌시험을 수행하게 된다. 해석에 사용된 ULSAB-AVC 차체 모델의 경우 윤거(Wheelbase)가 3,041(mm)인 PNGV-Class(Partnership New Generation Vehicle)이므로 Fig. 2의 그림에서 전방 차축을 기준으로 후방으로 508(mm) 인 지점에 충돌선이 있어야한다. 시험 차량의 총 중량은 유체 만체 상태의 중량과 최대적재 중량, 운전석과 뒷 자석 에 놓이게 되는 더미(SID) 2개의 중량을 더한 값으로 표현한다.

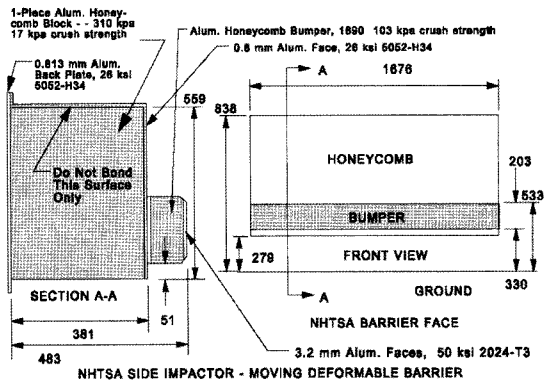
3. 차체의 측면충돌 해석

3.1 측면충돌 모델

측면충돌 해석은 ULSAB-AVC 모델을 사용하여 수행하였으며 구성된 유한요소 모델은 Fig. 3과 같이 약 205,000개의 쉘과 솔리드 요소를 사용하였다. 해석은 외연적 유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D v.970을 사용하였으며 조각선형(piecewise linear) 물성모델을 사용하였다. 또한 고속충돌 시 발생하는



(a)



(b)

Fig. 1 Facility and equipment for SINCAP test procedure : (a) vehicle simulator; (b) side impactor- moving deformable barrier

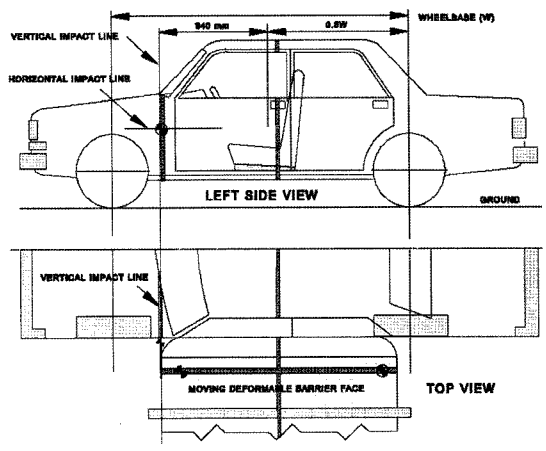


Fig. 2 Schematic diagram of impact line for SINCAP test procedure

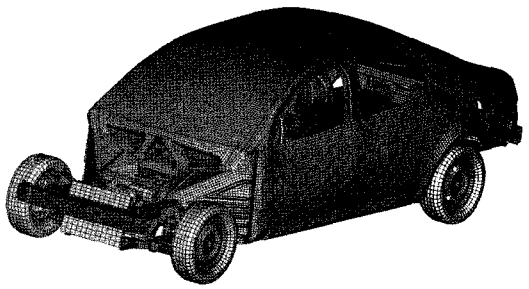
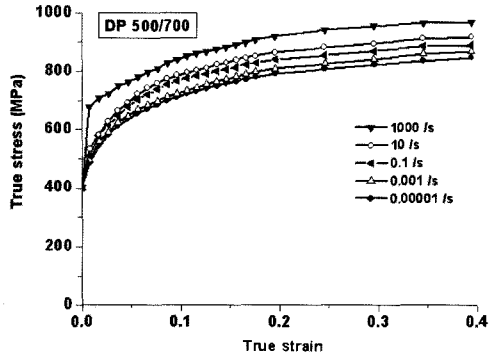
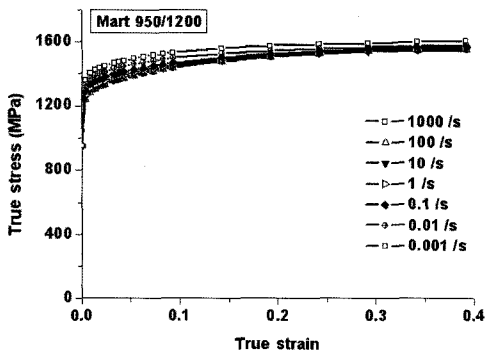


Fig. 3 Finite element model for the side impact analysis of ULSAB-AVC vehicle



(a)



(b)

Fig. 4 Dynamic stress-strain curves of the high strength steels with various strain rate level used in the simulation: (a) DP400/700; (b) Mart950/1200

변형률 효과를 고려하기 위하여 준정적 변형률부터 중고속 변형률속도 조건까지의 인장시험을 통하여 얻은 유동응력 값을 대입하여 변형률 경화를 고려하였다. ULSAB-AVC 모델에 적용된 강판의 경우 85% 이상이 Table 1에 제시된 바와 같이 인장강도 60kg급 이상의 고강도 강판으로 이루어져 있다. Fig. 4는 대표적인 고강도 강판의 변형률에 따른 응력-변형률 선도를 나타내었다. 해석의 단순화를 위하여 승객 상해치를 고려하기 위한 더미 모델은 사용하지 않았으며, 시트 크로스 멤버 부분에 더미에 해당하는 질량을 집중질량으로 부과하였다. 또한 기존의 ULSAB-AVC 모델과 비교하여 충돌성능 향상 및 해석의 안정성을 위하여 루프 보강재 2개를 추가하고 해석하였다.

Table 1 Mechanical properties of high strength steels used in ULSAB-AVC model[7]

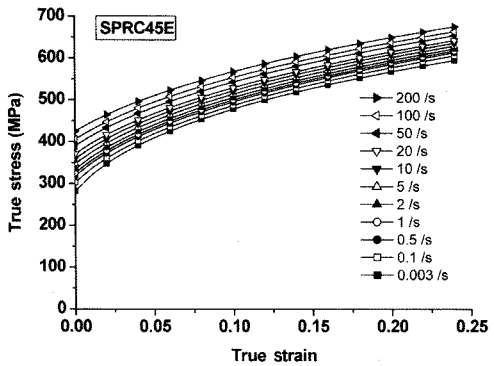
Steel Grade	YS (MPa)	UTS (MPa)	Total EL(%)	n-value (5-15%)	Applied members
BH 210/340	210	340	34-39	0.18	Floor rear, Fuel tank
BH 260/370	260	370	29-34	0.13	Bodyside outer TWB2, 5
DP 280/600	280	600	30-34	0.21	Dash, Crossmember back panel
IF 300/420	300	420	29-36	0.20	Bodyside inner rear, Header rear
DP 300/500	300	500	30-34	0.16	Tunnel, Back panel, Roof
HSLA 350/450	350	450	23-27	0.14	Subframe, Crossmember tunnel
DP 350/600	350	600	24-30	0.14	Front, Rear door
DP 400/700	400	700	19-25	0.14	Crash box dash
TRIP 450/800	450	800	26-32	0.24	Crossmember support front seat
DP 500/800	500	800	14-20	0.14	Bodyside inner, Rail front
DP 700/1000	700	1000	12-17	0.09	Bulkhead crash box dash, Roof crossmember
Mart 950/1200	950	1200	5-7	0.07	B-pillar inner, Reinf. tunnel

3.2 측면충돌 해석

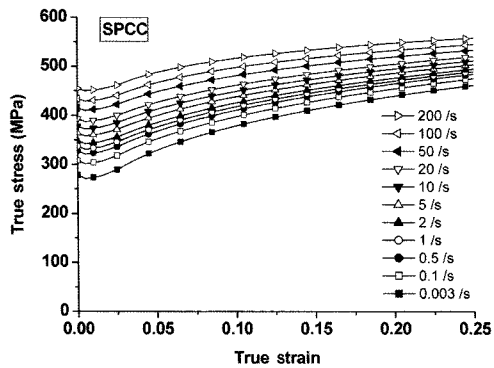
ULSAB-AVC모델의 경우 부재의 대부분이 고강도 강판으로 이루어져 있기 때문에 본 논문에서는 현재 적용되고 있는 일반 강판과 비교하여 이러한 고강도 강판의 적용이 충돌성능에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하여 보았다. 충돌성능 비교를 위하여 ULSAB-AVC모델에 적용되어 있는 고강도 강판을 일반 강판으로 대체하였으며 적용된 일반 강판의 변형률에 따른 물성 데이터는 자체 개발한 중고속 인장 시험기[2]를 이용하여 실험으로부터 구하였다. 대체된 일반 강판 종류 및 인장물성을 Table 2에 도시하였으며, 대표적인 강판의 응력-변형률 선도는 Fig. 5에 나타내었다. 해석은 60(msec)동안 수행하였으며 변형 후에 주요 부재가 흡수하는 내부에너지는 Fig. 6에 도시하였다. 사이드 아우터 패널(Side Outer Panel), 라커 이너 멤버(Rocker Inner Member), 사이드 이너 패널(Side Inner Panel) 등에서 에너지 흡수율이 가장 높게 측정되며 에너지 흡수율이 지배적인 9개 부재를 Fig. 7에 나타내었다. 측면충돌의 특성상 대차가 충돌하게 되는 부위인 B-필라와 사이드 시일(Side Sill), 도어부를 비롯하여 플로어부까지 환형(環形)을 이루는 부재들이 대부

Table 2 Mechanical properties of conventional steels

	Thickness (mm)	Yield Stress (MPa)	Ultimate Stress (MPa)	Strain at UTS	Elongation	K	ε$_0$	n
SPCD	0.7	149.14	298.78	0.296	0.588	560.53	0.00811	0.275
SPCUD	0.7	135.39	288.49	0.282	0.607	549.02	0.00723	0.284
SGACD	0.79	165.62	307.94	0.256	0.567	560.3	0.0084	0.255
SPCEN	0.7	148.50	295.13	0.282	0.607	556.19	0.00895	0.28
SPRC340S	0.81	213.14	349.7	0.230	0.487	638.89	0.0135	0.255
SPRC35R	0.7	199.61	345.17	0.252	0.497	625.82	0.0111	0.254
SPRC35E	0.7	198.55	369.51	0.253	0.477	687.09	0.0094	0.266
SPCC	0.79	270.56	356.51	0.246	0.482	641.32	0.033	0.253
SPRC390-BH	0.65	268.0	399.53	0.211	0.43	696.94	0.0154	0.229
SPRC40R	1.0	316.02	426.18	0.213	0.465	726.88	0.0193	0.211
SPRC45E	1.19	312.08	464.99	0.211	0.458	832.13	0.0168	0.24
SPFC590	1.21	435.79	648.75	0.218	0.37	1177.0	0.0197	0.253
TRIP 60	1.21	423.82	645.63	0.226	0.372	1161.55	0.0166	0.246
SPFH590	3.05	553.04	644.18	0.130	0.285	974.46	0.018	0.141
SPFC780	1.19	523.42	842.66	0.137	0.24	1319.83	0.0021	0.15
TRIP 80	1.2	563.22	859.68	0.144	0.23	1440.39	0.00642	0.186
SPFC980	1.19	693.44	1064.63	0.0894	0.175	1545.9	0.00073	0.111



(a)



(b)

Fig. 5 Dynamic stress-strain curves of the conventional steels with various strain rate level used in the simulation: (a) SPRC45E; (b) SPCC

분의 에너지를 흡수하고 있다. 변형 후의 차체 형상은 Fig. 8에 비교하였다. 전체적인 변형량이 일반 강판을 적용하였을 때 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있으며 B-필라부 및 이에 연결된 루프와 플로어의 변형이 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다. 일반 강판을 적용한 경우에 루프와 플로어의 변형량이

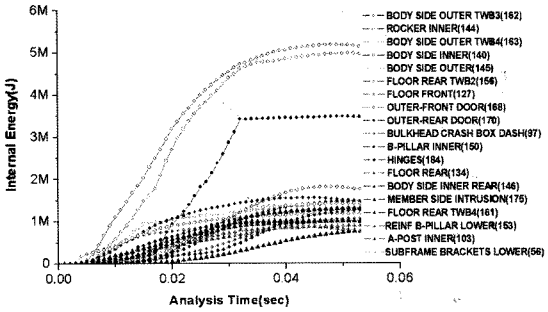


Fig. 6 Energy absorption characteristics of important panels and members in the side impact crash

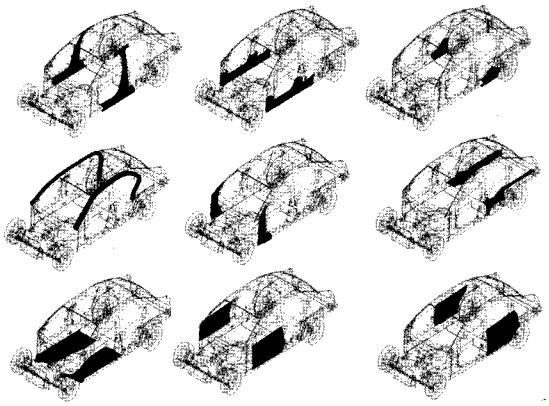
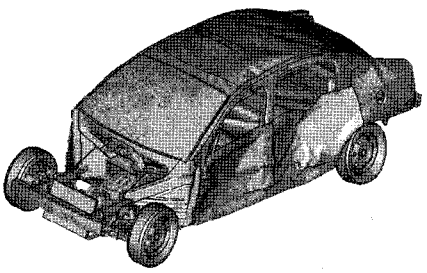
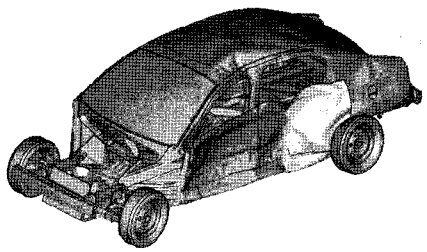


Fig. 7 Important parts for energy absorption



(a)



(b)

Fig. 8 Deformed shapes of the vehicle for the crash analysis at time 0.06sec: (a) AHSS; (b) conventional steel

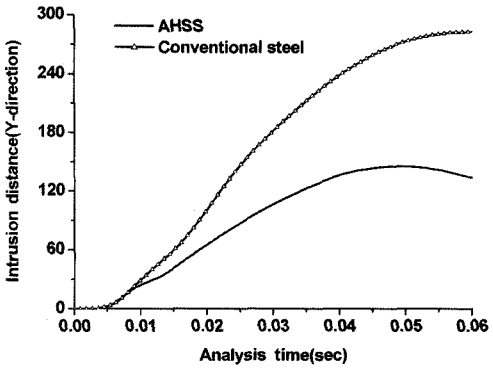
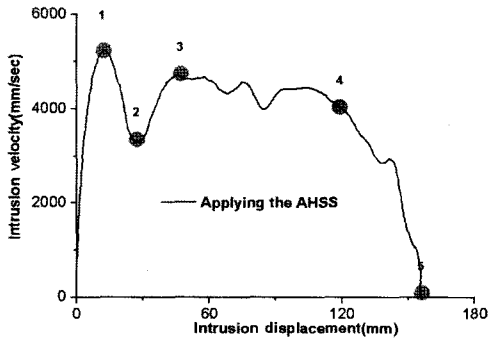
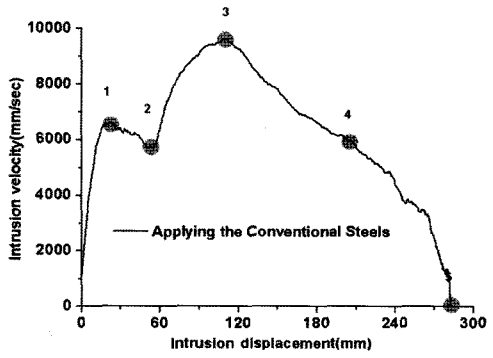


Fig. 9 Amount of intrusion distance of the B-pillar with respect to the time



(a)



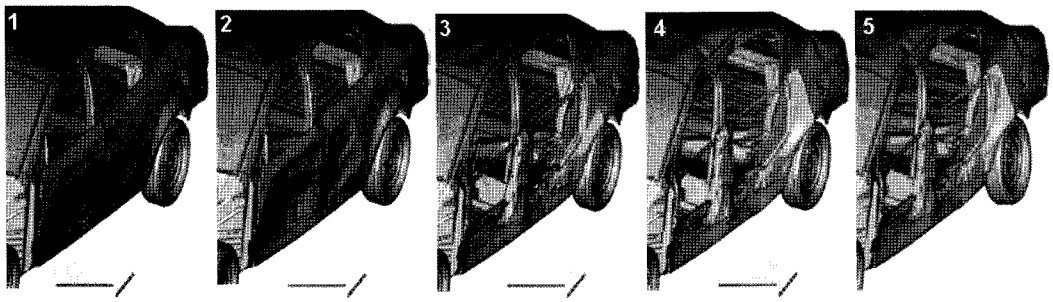
(b)

Fig. 10 Points of time at which the local minimum and local maximum velocity occurs: (a) AHSS; (b) conventional Steel

매우 큰 것을 확인할 수 있으며 B-필라 내부 보강재가 하중을 지지하지 못하고 붕괴되어 승객탑승 공간으로 차체의 침입량이 증가하였다. 이는 실제 충돌 시 운전석의 공간을 확보할 수 없으며 결과적으로 머리부나 기타 신체부위의 상해치가 증가하여 낮은 충돌성능을 보이게 됨을 의미한다. 보다 정량적인 비교를 위하여 Fig. 9와 같이 차체의 충돌 부와 반대편 B-필라 중심부의 폭방향 침입량과 침입속도를 비교하였다. 고강도 강판을 적용하였을 때 B-필라 부위의 침입량은 133(mm)였으며 일반 강판을 적용하였을 때는 282.5(mm)로 침입량이 두 배 이상 증가하였다. 침입 속도를 측정한 결과를 Fig. 10에 도시하였으며, 초기 피크 속도를 비롯하여 최고 침입속도 모두 일반 강판을 적용한 결과가 일반 강판을 적용한 경우가 급격히 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 또한 고강도 강판을 적용한 차량의 침입속도가 초기 피크 이후에 상승하지 않는 반면 일반 강판을 적용한 차량의 침입속도는 초기 피크 이후에 상승하는 곡선을 그리게 된다. 이러한 현상을 분석하기 위하여 충돌 중 침입속도의 기울기가 변하는 극대, 극소 값 시점을 추출하여 해당되는 시점의 차량의 변형모드를 Fig. 11와 Fig. 12에 도시하였다. 대차가 충돌하는 순간부터 도어부가 변형하는 시점까지 초기 피크를 이루게 되며 도어부가 완전히 붕괴되어 임팩트 빔이 하중을 지지하면서 속도는 감소하게 된다. 도어부가 붕괴된 후 B-필라에 대차가 접촉하는 순간까지 속도는 다시 증가하게 되지만 고강도 강판을 적용한 차체의 경우는 루프가 붕괴되지 않고 지지하는 효과로 인하여 일반 강판을 적용한 차체에 비해서 침입속도가 높아지지 않는다. 형상이 차체 바깥쪽으로 곡률이 있는 B-필라를 포함한 포함한 사이드 아우터 패널부는 대차가 밀려들어옴에 의하여 수직화 된 이후 붕괴되기 시작하며 침입속도가 영이 되는 시점 이후로는 차체의 대차 충돌부와 반대편 측정 부에서 상대 운동이 일어나지 않고 강체 운동을 하게 되어 차체가 전체적으로 이동하는 효과만을 보이게 된다.

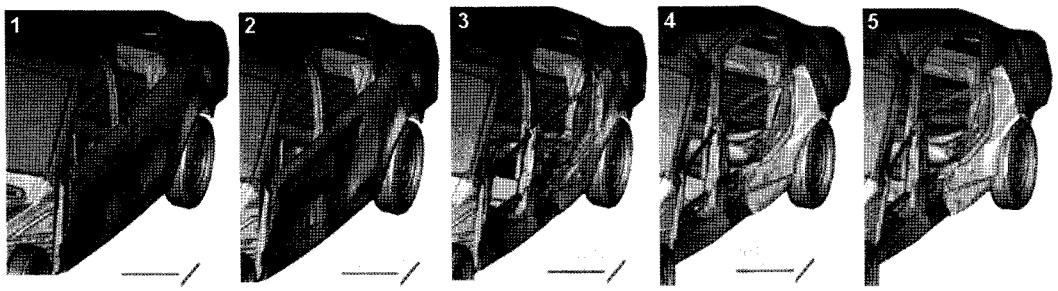
4. 결 론

본 논문에서는 차량 경량화 및 충돌성능 향상을 위하여 시도되고 있는 고강도 강판 적용의 효용성을 살펴보기 위하여 ULSAB-AVC 모델을 이용하여 측면충돌 해석을 수행하였다. 또한 고강도 강판의 성능을 정량화하기 위하여 실험을 통하여 얻어진 기존 일반 강판의 물성치를 대입하여 추가로 측면



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 11 Subsequent deformation mechanism with AHSS: (a) 0.007sec; (b) 0.011 sec; (c) 0.016 sec; (d) 0.03 sec; (e) 0.047 sec



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 12 Subsequent deformation mechanism with conventional steel: (a) 0.0088sec; (b) 0.0143 sec; (c) 0.02 sec; (d) 0.04 sec; (e) 0.06 sec

충돌 해석하고 결과를 비교하였다. 일반 강판을 적용한 차체와 비교하여 고강도 강판을 적용한 차체의 경우 충돌 시 측면부재 침입량의 급감과 침입속도의 감소로 인하여 운전석의 공간을 확보할 수 있었으며, 신체 부위에 전달되는 상해치의 감소를 예측할 수 있었다. 따라서 고강도 강판을 적용한 차체의 충돌성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

References

1) H. Huh, J. H. Lim, J. H. Song, K. S. Lee, Y. W. Lee and S. S. Han, "Crashworthiness Assessment of Side Impact of an Auto-Body with 60TRIP Steel for Side Members," Int. J. Automotive Technology, Vol.4, No.3, pp.149-156, 2003.

2) H. Huh, J. H. Lim, S. B. Kim, S. S. Han and S. H. Park, "Formability of the Steel Sheet at the Intermediate Strain Rate," Key Engineering Materials, Vol.274-276, pp.403-408, 2004.

3) J. Cafolla, R. W. Hall and D. P. Norman, "Forming to Crash Simulation in Full Vehicle Models," 4th European LS-DYNA Users Conf., Metal Forming II, E-II-17-26, 2003.

4) S. Simunovic, J. Shaw and G. A. Aramayo, "Steel Processing Effects on Impact Deformation of UltraLight Steel Auto Body," SAE 2001-01-1056, 2001.

5) H. Huh, K. P. Kim, S. H. Kim, J. H. Song, H. S. Kim and S. K. Hong, "Crashworthiness Assessment of Front Side Members in an Auto-Body Considering the Fabrication Histories," Int. J. Mech. Sci., Vol.45, pp.1645-1660, 2003.

6) ULSAB-AVC ProgramTechnical Transfer Dispatch#1-6, Porsche Engineering Services, Inc., 1999.

7) ULSAB-AVC Engineering Report, Porsche Engineering Services, 2001.

8) LSTC, LS-DYNA970 Keyword User's Manual, 2003.