

## 박판성형가공을 고려한 자동차 충돌해석

허 훈<sup>#</sup>, 윤종현<sup>1</sup>, 바오이둥<sup>1</sup>, 김세호<sup>2</sup>, 박성호<sup>3</sup>

### Crash Analysis of the ULSAB-AVC Model with Considering Forming Effects

H. Huh, J. H. Yoon, Y. D. Bao, S. H. Kim, S. H. Park

(Received October 12, 2006)

#### Abstract

Most of auto-body members are composed of stamping parts. These parts have the non-uniform thickness and plastic work hardening distribution during the forming process. This paper is concerned with the side impact analysis of the ULSAB-AVC model according to the US-SINCAP in order to compare the crashworthiness between the model with and without considering the forming effect. The forming effect is calculated by one-step forming analysis for several members. The crashworthiness is investigated by comparing the deformed shape of the cabin room, the energy absorption characteristics and the intrusion velocity of a car. The result of the crash analysis demonstrates that the crash mode, the load-carrying capacity and energy absorption can be affected by the forming effect. It is noted that the design of an auto-body should be carried out considering the forming effect for accurate assessment of crashworthiness.

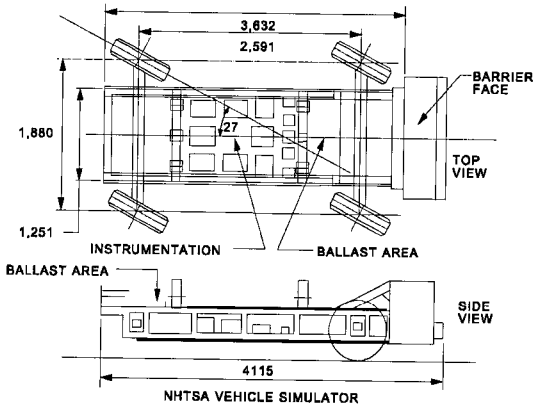
**Key Words** : Side Impact Analysis, Crashworthiness, ULSAB-AVC(Ultra Light Steel Auto Body Advanced Vehicle Concepts), AHSS(Advance High Strength Steel), US-SINCAP(U. S. Side Impact test for New Car Assessment Program), Forming Effect

#### 1. 서 론

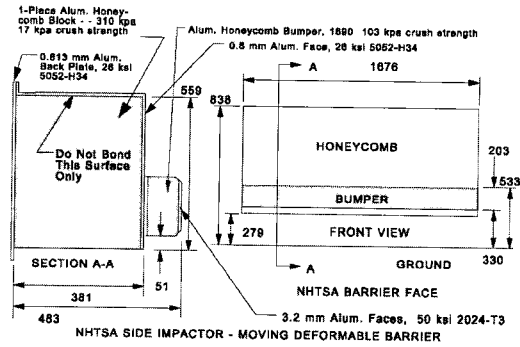
자동차 업계는 지속적인 유가 상승 및 세계적으로 강화되고 있는 안전규제 등에 대응하기 위하여 차량 경량화와 충돌안전성이 높은 차량의 개발을 추진하고 있다. 자동차의 구조 부재는 충돌 사고 시에 적절한 변형에 의하여 충돌에너지를 흡수하여 운전자의 상해치가 최소화 되도록 설계되어야 한다. 그러므로 차량 경량화는 충돌 안전성을 확보한 상태에서 이루어져야 하며 동시에 충돌 안전성에 관한 해석의 신뢰도를 높이는 것이 매우 중요하다. 복잡한 형상의 자동차 구조

용 박판 부재들은 대부분 박판 성형 공정에 의하여 생산된다. 이러한 성형공정 중에 부재는 형상과 성형 조건에 따라 두께 및 변형률 등의 분포가 불균일해진다. 따라서 신뢰도가 높은 자동차 충돌해석을 수행하기 위하여는 자동차 구조 부재들의 정확한 기하학적 형상이나 재료의 동적 물성 특성뿐만 아니라 성형 공정에서 유발되는 부재의 잔류응력, 두께의 변화 및 변형경화의 영향 등을 고려하여야 한다. 최근에 들어서는 자동차의 충돌특성을 파악하고 성형 이력의 효과를 검증하기 위하여 프론티사이드 멤버와 같은 자동차 구조부재의 단품에 성형효과를 적용하여 충돌해석을 수행

1. 한국과학기술원 기계공학과  
2. 대구대학교 자동차 산업 기계공학부  
3. POSCO 기술연구소  
# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, hhuh@kaist.ac.kr



(a)



(b)

Fig. 1 Facility and equipment for Side-NCAP test procedure: (a) Vehicle simulator; (b) Side impactor- moving deformable barrier

하는 연구가 진행되고 있으며[1] 성형 이력을 고려한 자동차 구조부재의 충돌해석에 관한 연구도 꾸준히 수행되고 있다[2~4].

본 논문에서는 ULSAB-AVC 모델의 주요 부재에 대하여 성형해석을 수행하고 계산된 성형해석 결과들을 충돌해석에 적용하였다. 성형효과가 충돌 성능에 미치는 영향을 검증하기 위하여 성형효과를 고려하지 않은 충돌해석 모델과 변형형상, 변형속도, 에너지 흡수량 등을 비교하였다.

## 2. 충돌해석

### 2.1 충돌해석 시험법

해석에 적용된 시험법은 미교통부(US DOT) 산하의 도로교통안전청(NHTSA)의 FMVSS No.214D에 기초한 측면충돌 신차평가 프로그램인 Side-

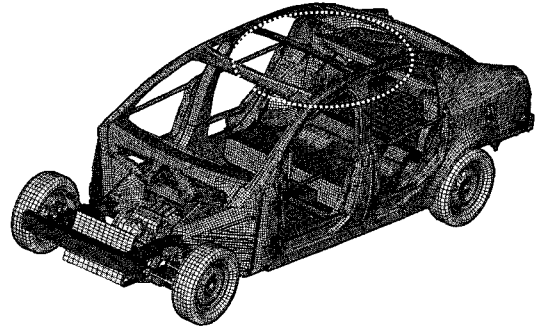


Fig. 2 ULSAB-AVC model with roof crossmember

NCAP(New Car Assessment Program side impact test)을 이용하였다. 이 시험법은 Fig. 1(a)와 같이 규정된 이동대차(MDB: Moving Deformable Barrier)가 27°의 경사를 유지하여 38.5mph의 속도로 차체와 충돌하게 된다. 대차의 총 중량은 1,361kg이며, 차체와의 충돌 시 규정화된 수직, 수평 충돌선상에 정렬시킨 후 충돌시험을 수행하게 된다.

### 2.2 충돌해석

측면충돌 해석은 ULSAB-AVC 모델을 사용하여 수행하였으며 구성된 유한요소 모델은 Fig. 2와 같이 약 205,000개의 셀과 솔리드 요소를 사용하였다. 해석은 외연적 유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D v970을 사용하였다. ULSAB-AVC 모델에 적용된 강판의 경우 85% 이상이 인장강도 60kg급 이상의 고강도 강판으로 이루어져 있다. 따라서 고속 변형 시 발생하는 고강도 강판의 동적물성을 고려하기 위하여 정적 및 동적 물성 데이터를 piecewise linear 형태로 적용하여 해석을 수행하였다. 해석의 단순화를 위하여 승객 상해지를 고려하기 위한 더미 모델은 사용하지 않았으며, 시트 크로스 멤버 부분에 더미에 해당하는 질량을 집중질량으로 부과하였다. 또한 충돌 성능 향상 및 해석의 안정성을 위하여 기존의 ULSAB-AVC 모델에 루프 보강재 2개를 추가하고 충돌해석을 수행하였다. 해석은 US-SINCAP에 의거하여 해석시간 60msec 동안 수행하였다.

### 2.3 변형률속도 효과

충돌해석에서는 일반적으로 변형률속도를 고려하기 위하여 Fig. 3과 같은 동적물성을 대입하여 해석을 수행한다. 동적물성이 충돌 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 ULSAB-AVC 모델에 동적물성을 대입한 해석과 정적물성만을 대입한 해

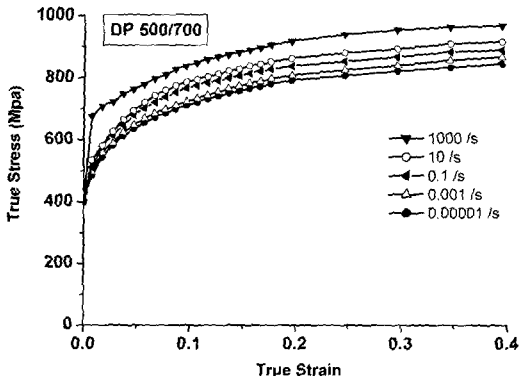


Fig. 3 Dynamic stress-strain curves of DP 500/700

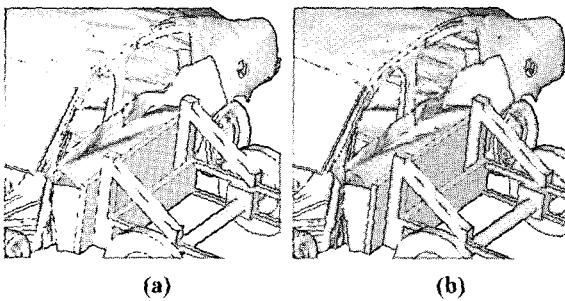


Fig. 4 Deformed shapes after crash analysis(AHSS): (a) w/strain rate effect; (b) w/o strain rate effect

석을 수행하여 결과를 비교하였다. Fig. 4는 충돌 해석 후의 변형형상을 도시한 그림이다. 변형률속도를 고려한 충돌해석의 경우 변형률속도 경화로 인하여 전체적인 변형량이 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 보다 정량적인 비교를 위하여 운전석과 조수석 옆에 위치하는 B-필라 중심부의 폭 방향 침입량과 침입속도를 비교하였다. 변형률속도를 고려한 충돌해석의 경우 침입량은 11.3mm, 침입속도는 해석시간 32msec에서 약 0.8m/sec 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 대부분의 영역에서 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. ULSAB-AVC 모델의 경우 85% 이상이 변형률속도 민감도가 작은 고강도 강판으로 이루어져 있기 때문에 변형률속도에 따른 효과가 작게 나타나는 것으로 평가된다. 이러한 결과를 검증하기 위하여 고강도 강판으로 이루어진 ULSAB-AVC 모델의 각 부재를 자동차 업계에서 일반적으로 사용하는 일반강판으로 대체하여 새로운 ULSAB-AVC-CS (conventional steel model) 모델을 구성하였다. 구성된

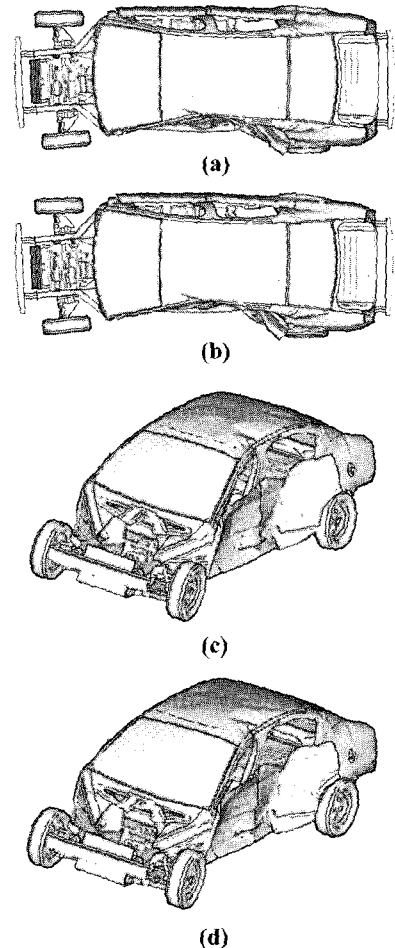


Fig. 5 Deformed shapes after crash analysis(CS): (a) w/strain rate effect(top-view); (b) w/o strain rate effect(top-view); (c) w/ strain rate effect(iso-view) ; (d) w/o strain rate effect(iso-view)

모델과 기존 ULSAB-AVC 모델을 구분하기 위하여 기존모델을 ULSAB-AVC-AHSS(advance high strength steel)로 사용한다. ULSAB-AVC-CS 모델을 이용하여 충돌해석을 수행할 경우 Fig. 5와 같이 변형률속도를 고려한 충돌해석의 경우가 변형량이 크게 감소하여 변형형상의 차이가 확연히 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 ULSAB-AVC-CS 모델에 사용된 일반강판의 변형률속도 민감도가 고강도강판에 비하여 크게 나타나기 때문이다. 충돌해석 후에 발생하는 침입량과 침입속도 모두 Fig. 6, 7에서 제시된 바와 같이 ULSAB-AVC-AHSS 모델에 비하여 상대적으로 크게 감소되는 것을 확인할 수 있다.

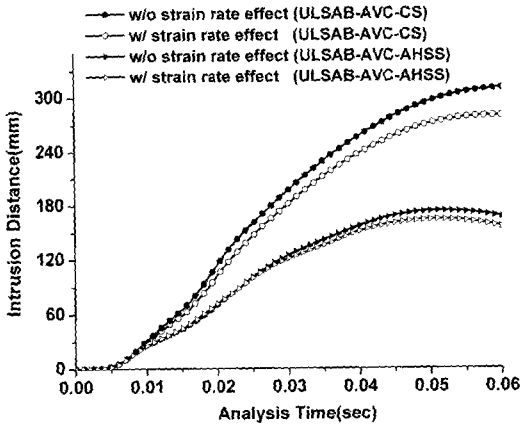


Fig. 6 Intrusion distance during the crash analysis

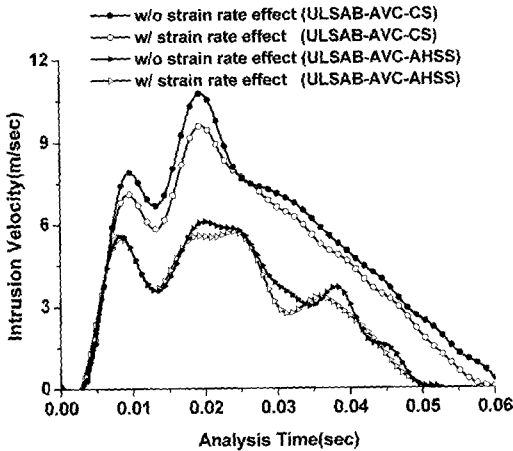


Fig. 7 Intrusion velocity during the crash analysis

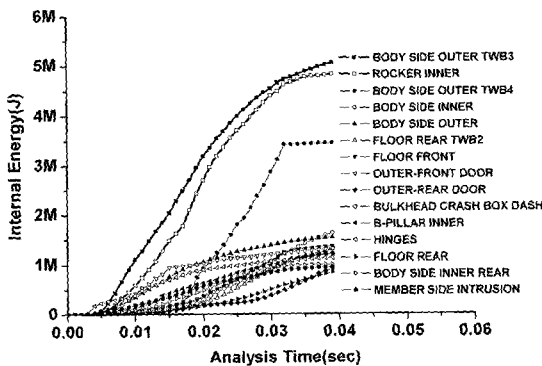


Fig. 8 Energy absorption characteristics of important members during the side impact test

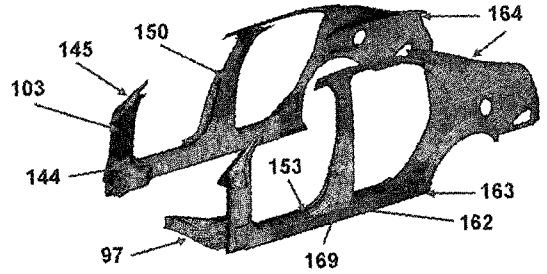


Fig. 9 Critical members for energy absorption during the side impact analysis

### 3. 성형효과를 고려한 충돌해석

Fig. 8은 충돌해석 동안 발생하는 부재의 내부 에너지를 도시하였으며 이를 바탕으로 Fig. 9와 같이 10개의 충돌부재를 선정하였다. 충돌해석 시 주요 에너지 흡수부재는 바디사이드 아우터(bodyside outer panel), 라커이너(rocker inner), 바디사이드 이너(bodyside inner panel) 등이 있으며 대부분 고강도 강판으로 이루어져 있다. 성형효과가 충돌성능에 미치는 효과를 평가하기 위하여 선정된 10개의 충돌부재를 성형해석하여 두께변화 및 유효소성 변형률을 계산하고 이를 충돌해석에 적용하였다. 다이세트(die set) 및 공정변수 설계의 시간을 절약하고 해석의 효율성을 높이기 위하여 성형해석은 역해석(inverse forming analysis) 기법의 코드를 사용하였으며 해석결과는 Fig. 10에 도시하였다.

성형해석을 수행한 각 부재는 초기 두께를 기준으로 두께변형률이 최대 0.18까지 발생하고 대부분 0.1내외의 값을 갖는다. 계산된 10개 부재의 두께분포 및 유효소성 변형률 값은 충돌해석 시에 초기값으로 적용하였다. 충돌 후에 전체적인 변형 형상을 살펴보면 루프 크로스멤버와 B-필라가 만나는 부분의 변형이 성형효과를 고려하였을 경우 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 11을 살펴보면 B-필라가 운전석 쪽으로 밀려들어가는 침입량이 감소하여 임팩트 범이 적게 변형하는 것을 확인할 수 있다. 충돌 시 운전석 방향으로 밀려들어오는 침입량은 실제 충돌사고 시에 운전자에게 치명적인 상해를 줄 수 있으며 개발된 신차의 상품성 평가에서 상품 가치를 결정짓는 중요한 변수가 될 수 있다. 보다 정량적인 비교를 위하여 B-필라 중심부의 폭방향 침입량과 침입속도를 비교하였다. 강제 운동의 효과를 제거

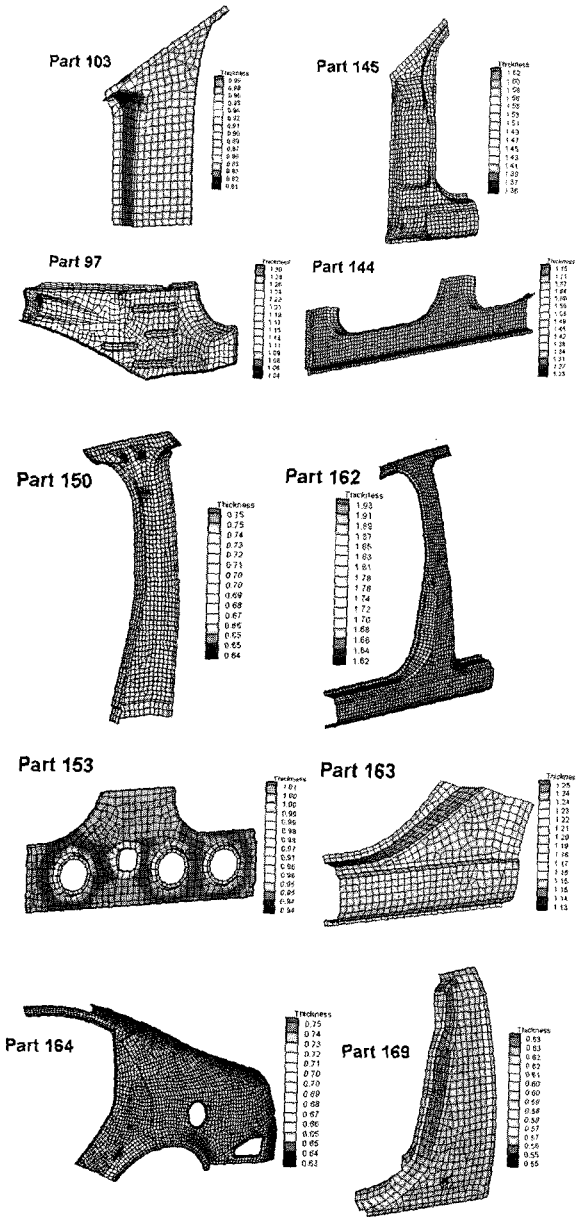
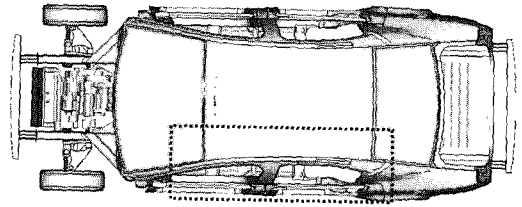
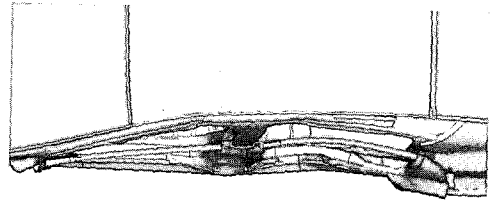


Fig.10 Thickness distribution after the one-step forming analysis

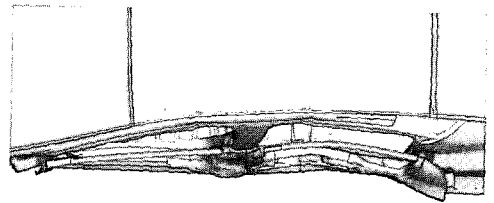
하기 위하여 대차가 충돌하는 B-필라 중심부와 반대편 조수석 옆의 B-필라 중심부의 변위, 속도의 차로 침입량과 침입속도를 계산하였다. 침입량의 경우 Fig. 12에서와 같이 성형효과를 고려할 경우 최대 30mm까지 감소하는 것을 볼 수 있어 충돌성능에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig.11 Deformed shapes of the vehicle for the crash analysis at time 0.06sec(top-view): (a) Initial shape (b) w/o forming effect; (c) w/ forming effect

침입속도를 비교하면 Fig. 13에서와 같이 초기 피크 값이 성형효과를 고려하지 않을 경우에 대하여 약 8%(0.5m/sec) 감소하는 것을 관찰 할 수 있다. 또한 성형효과를 고려하지 않을 경우 두 번째 피크가 발생하고 약 10msec 동안 피크 값이 유지되는데 반하여 성형효과를 고려할 경우, 두 번째 피크 후에 침입속도가 바로 하강하는 것을 볼 수 있다. 최대 침입속도의 차이는 해석 시간 24msec에서 발생하며 약 29%(1.76m/sec)까지 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 성형효과를 고려한 충돌의 경우 그렇지 않은 충돌에 서보다 높은 충돌성능을 보인다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고정도 충돌해석에서 요구되는 동적물성의 효과를 고찰하기 위하여 동적물성을

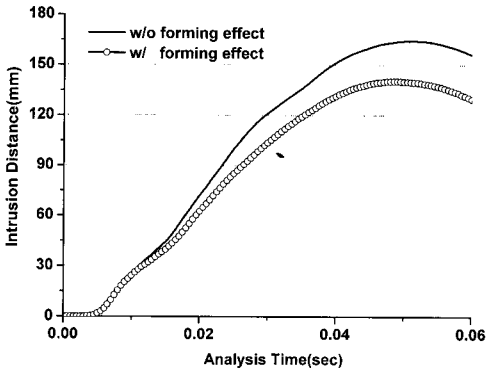


Fig.12 Amount of intrusion distance of the B-pillar with respect to the analysis time

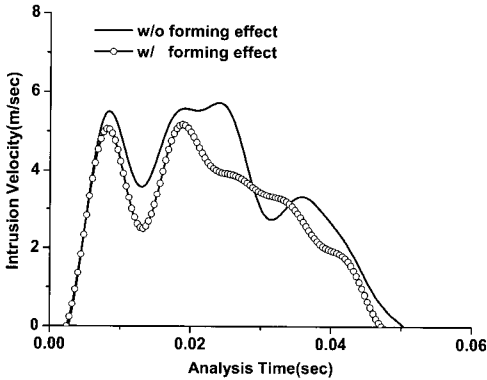


Fig.13 Variation of intrusion velocity of the B-pillar with respect to the analysis time

고려한 충돌해석 모델과 정적물성만을 대입한 충돌해석 모델을 이용하여 충돌해석을 수행하였다. 변형률속도 민감도가 작은 고강도 강판으로 대부분 이루어진 ULSAB-AVC-AHSS 모델의 경우, 변형률속도를 고려한 충돌해석 결과와 변형률속도를 고려하지 않은 충돌해석 결과 사이에 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나 변형률속도 민감도가 큰 일반강판으로 이루어진 ULSAB-AVC-AHSS 모델의 경우 변형률속도를 고려한 충돌해석 결과가 그렇지 않은 결과에 비하여 변형률속도경화가 크게 발생하여 침입량과 침입속도가 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

또한 차량 경량화 및 충돌성능의 고정도 평가를 위하여 성형효과를 고려한 측면충돌 해석을 수행하였다. 측면충돌 시 에너지 흡수율이 높고

변형양이 많은 10 개의 부재를 선정하여 성형해석을 수행하였다. 해석의 효율을 높이기 위하여 역해석을 수행하여 각 부재의 두께분포 및 소성변형률을 계산하였다. 이러한 성형이력을 충돌해석 시 초기 조건으로 적용하여 측면충돌 해석을 수행하였다. 충돌해석 시 충돌성능에 미치는 성형이력의 효과를 정량화하기 위하여 B-필라 중심부의 측정지점을 선정하여 운전석으로 밀려 들어오는 침입량과 침입속도를 측정하였다. 성형이력을 고려한 차체 모델의 경우 충돌 시 침입량과 침입속도의 감소로 인하여 운전석의 공간을 확보할 수 있었으며, 신체 부위에 전달되는 상해치의 감소를 예측할 수 있었다. 따라서 고정도 충돌해석을 수행하기 위해서는 동적물성 및 정확한 박판성형해석으로부터 얻어진 부재의 성형이력을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

- [1] H. Huh, K. P. Kim, S. H. Kim, J. H. Song, H. S. Kim, S. K. Hong, 2003, Crashworthiness Assessment of Front Side Members in an Auto-Body Considering the Fabrication Histories, *Int. J. Mech. Sci.*, 45, pp. 1645~1660.
- [2] H. Huh, J. H. Lim, J. H. Song, K. S. Lee, Y. W. Lee and S. S. Han, 2003, Crashworthiness Assessment of Side Impact of an Auto-Body with 60TRIP Steel for Side Members, *International Journal of Automotive Technology*, 4 (3), pp. 149~156.
- [3] H. S. Kim, S. O. Hong, S. K. Hong, H. Huh, 2003, The Evaluation of Crashworthiness of vehicles with Forming Effect, 4th European LS-DYNA Users Conference, Ulm, LSTC.
- [4] S. Simunovic, J. Shaw, G. A. Aramayo, 2001, Steel Processing Effects on Impact Deformation of Ultra Light Steel Auto Body, SAE Paper, 2001-01-1056.
- [5] Porsche Engineering Services, ULSAB-AVC Engineering Report, 2001.
- [6] C. H. Lee, H. Huh, 1998, Blank design and strain estimates for sheet metal forming processes by a finite element inverse approach with initial guess of linear deformation”, *J Mater Process Tech*, 82, pp. 145~155.