

차량충돌해석 적용을 위한 간단화한 성형이력 고려 방법

허지향¹, 윤종현¹, 임지호², 박성호², 허 훈^{1#}

A Simplified Method to Consider Forming Effects in a Car Crash Analysis

J. Huh, J. H. Yoon, J. H. Lim, S. H. Park, H. Huh

Abstract

This paper introduces a simplified method to consider forming effects in a car crash analysis. Representative value was used to consider forming effects simply. Four representative values, which are the mean value of thicknesses and effective plastic strains at nodes, the median of thicknesses and effective plastic strains at nodes, were evaluated. A crash analysis of a front side member shows that analysis results from the suggested methods are similar to those from the conventional method to consider forming effects. Use of the mean effective plastic strain shows the best results. A car crash analysis for a ULSAB/AVC model under the condition of US SINCAP were carried out to demonstrate the validity of the suggested method. Analysis results show that the error of suggested method is less than 1.5%.

Key Words : Finite Element Inverse Analysis, Forming Effect, Simplified Method, Car Crash Analysis

1. 서 론

최근 환경규제가 강화되고 유가가 급등하고 있어 배기가스 감축 및 연비 향상을 위한 차량 경량화의 필요성이 커져가고 있다. 한편, 충돌 안전성 법규 및 상품성 평가는 점점 강화되고 있어 경량화와 동시에 차량의 충돌 안전성을 높이는 설계가 필수적이다. 이렇게 차량의 충돌 안전성과 경량화를 동시에 고려하려면 차량충돌해석을 정확하게 해석할 수 있는 기술이 필수적이다.

차체구조부품의 대부분은 박판성형가공을 이용하여 만들어진다. 박판성형공정을 거칠 경우 부재의 두께에 차이가 생기고 변형경화가 발생하므로 부재의 거동이 달라진다. 따라서 차량충돌해석의 정밀도를 높이려면 부품의 성형이력을 고려하여야 한다. Huh 등은[1] 프론트사이드 멤버의 성형이력을 고려하여 충돌해석을 한 경우 성형이력을 고려하

지 않은 결과와 비교하여 큰 차이가 있음을 보인다. 또한 Huh 등[2]이 유한요소 역해석(Finite Element Inverse Analysis)를 이용하여 차량 구조부재의 성형이력을 계산하고 이를 차량충돌해석에 적용한 것과 같이 차량 구조부재의 성형이력을 고려한 자동차 충돌해석은 여러 연구자들에 의하여 활발하게 이루어지고 있다[3-4].

성형이력을 고려할 경우 충돌해석의 정밀도를 향상시킬 수 있다는 것이 잘 알려져 있음에도 불구하고 초기 설계단계에서부터 성형이력을 고려한 차체설계는 잘 이루어지지 못하고 있다. 이는 성형이력을 계산할 때 많은 시간과 노력이 필요하기 때문이다. 성형이력을 고려하려면 주요 에너지 흡수부재에 대한 성형해석이 필요하고 이를 충돌해석에 적용시키기 위한 매핑(mapping)작업이 필요하다. 유한요소 역해석을 이용하면 성형해석에 드는 시간이 줄어들기는 하지만 부품의 수가 많고 여러 번의 반복작업이 필요하기 때문에 좀 더 효율적인

1. 한국과학기술원 기계항공시스템학부

2. 포스코 강재연구센터

교신저자: 한국과학기술원 기계항공시스템학부,

Email: hhuh@kaist.ac.kr

방법이 필요하다.

본 논문에서는 차량충돌해석에서 대표값을 통하여 간단하게 성형이력을 고려할 수 있는 방법을 제시하였다. 성형이력을 부재의 두께 및 유효변형률(effective strain)을 각 절점에서 값의 평균값 혹은 중간값과 같은 대표값으로 나타내는 방법을 연구하고 평균값이 부재의 성형이력을 잘 나타냄을 확인하였다. 또한 프론트 사이드 멤버의 충돌 해석 및 ULSAB/AVC 측면 충돌해석에 단순화한 성형이력고려방법을 적용하여 제안한 방법이 신뢰성 있는 결과를 보임을 확인하였다.

2. 단순화한 성형이력 고려 방법

유한요소 역해석이나 직접해석을 이용하여 성형이력을 계산하면 적분점에서의 두께와 유효변형률을 구할 수 있다. 간단하게 성형이력을 고려하기 위하여 적분점에서의 값을 하나의 대표값으로 환산하여 고려하고자 한다. 본 연구에서는 대표값으로 각 절점에서의 두께 및 초기변형률의 평균값과 중간값을 택하였다. 일반적으로 요소망을 형성할 때 곡률반경이 작은 부분에 크기가 작은 요소를 사용하고 곡률반경이 크고 값의 변화가 작은 곳에는 크기가 큰 요소를 사용하게 된다. 각 절점에서의 평균값을 취하면 곡률반경이 작은 부분의 값에 더 큰 가중치를 두어 계산한 것이 된다. 곡률반경이 작은 곳에서 성형으로 인한 두께 및 유효 변형률의 변화가 클 것으로 예상되므로 절점에서의 값의 평균이나 중간값을 취하는 방법은 타당성을 지닌다.

제안한 방법을 검토하기 위하여 단순화한 성형이력 고려 방법을 프론트사이드 멤버의 충돌해석에 적용하였다. 사용한 프론트사이드 멤버는 Ref. 1에 있는 것과 동일하며 유한요소모델은 Fig. 1과 같다.

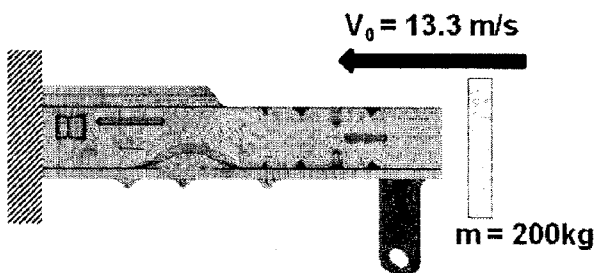


Fig. 1 Finite element model of a front side member; 7 parts, 29842 nodes, 30788 elements

유한요소 모델은 모두 일곱 개의 부품으로 이루어져 있으며 총 29842 개의 절점 및 30788 개의 요소를 사용하여 모델링 하였다. 충돌 시 변형이 크고 에너지 흡수를 많이 하는 부재를 다섯 개 선정하여 외연적 유한요소해석 코드인 LS-DYNA3D를 이용하여 절점에서의 두께 및 유효변형률을 계산한 후 [1] 평균값과 중간값을 계산하고 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Mean and median value of the thickness and the effective plastic strain of each part

part	Thickness (mean)	Effective plastic strain (mean)	Thickness (median)	Effective plastic strain (median)
Frt_frame_out_A	1.197	0.0147	1.199	0.0104
Reinf_frt_frame_A	0.895	0.0328	0.896	0.0267
Reinf_frt_frame_C	1.994	0.0271	1.999	0.0153
Reinf_frt_frame_D	1.597	0.0224	1.599	0.121
Frt_frame_in	1.593	0.0269	1.596	0.023

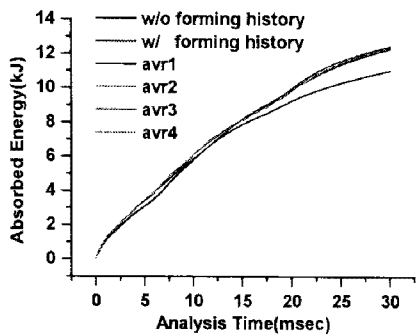
위에서 계산한 두께 및 유효변형률을 대표값으로 성형이력을 적용한 후 LS-DYNA3D를 이용하여 아래와 같이 총 여섯 가지 조건에 대하여 충돌해석을 수행하였다. 이 때 프론트 사이드 멤버의 한 쪽 끝의 움직임을 구속하고 다른 쪽에 질량 200kg의 강체를 13.3m/s의 속도로 충돌하는 해석을 수행하였다[1].

- 1) 성형이력을 고려하지 않고 해석을 수행한 경우
- 2) 기존의 방법과 같이 적분점에서의 유효변형률 및 두께를 모두 적용하여 성형이력을 고려한 경우
- 3) 절점에서의 유효변형률의 평균값을 대표값으로 성형이력을 고려한 경우
- 4) 절점에서의 유효변형률 및 두께의 평균값을 대표값으로 성형이력을 고려한 경우
- 5) 절점에서의 유효변형률의 중간값을 대표값으로 성형이력을 고려한 경우
- 6) 절점에서의 유효변형률 및 두께의 중간값을 대표값으로 성형이력을 고려한 경우

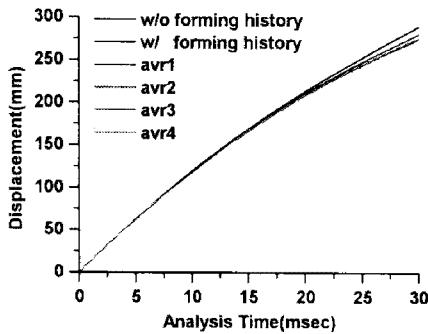
각 해석조건에 대하여 흡수에너지와 변형량을 계산하고 이를 Fig. 2 와 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Absorbed energy and deformation for various analysis conditions

Analysis condition	Absorbed energy(kJ)	Deformation (mm)
w/o forming	11.0	289.1
w/ forming	12.3	280.2
Mean(eps)	12.5	274.4
Mean(eps+ths)	12.4	276.1
Median(eps)	12.5	274.5
Median(eps+ths)	12.4	276.2



(a) Absorbed energy



(b) Deformation

Fig. 2 Absorbed energy and deformation for a front side member for various analysis conditions

충돌에너지를 살펴보면 대표값을 이용하였을 경우가 가장 크고 성형이력을 고려하지 않은 경우가 가장 작다. 하지만 대표값을 이용한 해석과 성형이력을 고려한 해석의 차이는 크지 않으며 대표값을 이용한 해석도 서로 큰 차이를 보이지 않는다. 변형량의 경우 대표값을 이용하였을 때 가장 작은 값을 보이며 성형이력을 고려하지 않았을 경우 가장 큰 값을 보인다. 대표값 고려 방법에 따른 차이는 미미하지만 평균값을 고려한 경우가 중간값을 적용한 경우보다 더 정확한 결과를 보인다. 대표값을 고려한 경우와 적분점에서의 값으로 성형이력

을 고려하였을 경우 값의 차이가 미미하다. 이러한 결과로 미루어 보아 대표값을 이용한 간단화한 성형이력방법의 타당성이 있다고 판단되며 중간값보다는 평균값을 대표값으로 취하는 것이 타당하다고 생각한다. 또한 두께를 고려한 경우 해의 개선 여부는 크지 않으므로 간단한 해석을 위하여 유효 변형률만 고려하는 것이 바람직하다.

3. ULSAB/AVC 모델의 측면 충돌해석

2 장에서 제안한 대표값을 이용한 간단화한 성형이력 고려방법의 타당성을 검증하기 위하여 이를 ULSAB/AVC 모델의 측면 충돌해석에 적용하였다. ULSAB/AVC 모델의 유한요소모델은 Fig. 3(a)에 나타냈으며 약 205,000 개의 쉘요소로 이루어져 있다.

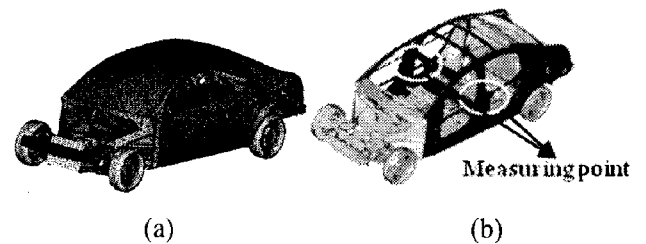
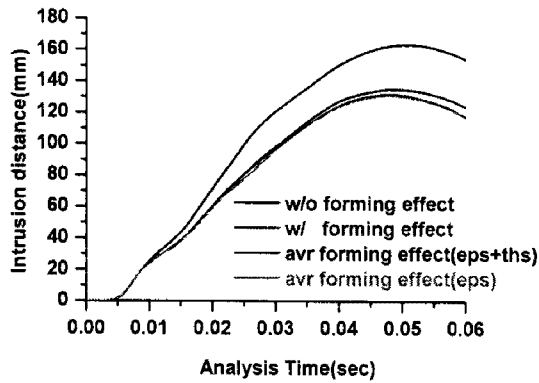


Fig. 3 (a) FE modeling of an ULSAB/AVC model, (b) Parts to consider forming effects (dark parts) and measuring points

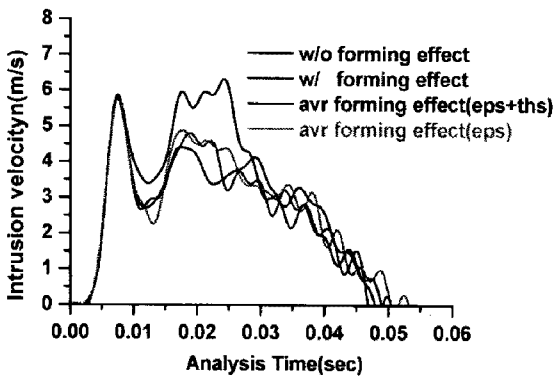
충돌 에너지의 주요 흡수부재를 판단하기 위하여 US SINCAP 규정에 의거하여 충돌해석을 수행하고[2] 충돌 에너지를 많이 흡수하는 부재를 13 개 선정하고 Fig. 3 (b)에 진한색으로 나타내었다. 선정된 부재에 대하여 유한요소 역해석을 수행하여 성형이력을 계산하고[2] 두께 및 유효변형률의 평균값을 계산하고 Table 3 에 도시하였다.

Table 3 Mean thickness and effective plastic strain for each part

Part	Ths(mm)	Eps
Bulkhead Crash Box Dash RH	1.199	0.0406
Crossmember Support	0.698	0.0310
A-Post Inner	0.899	0.0387
Rocker Inner	1.497	0.0361
Body Side Outer TWB1	1.502	0.0425
B-Pillar Inner	0.698	0.0427
Reinf B-Pillar Lower	0.995	0.0182
Body Side Outer TWB3	1.795	0.0270
Body Side Outer TWB4	1.200	0.0170
Body Side Outer TWB5	0.699	0.0237
Inner Rear - Front Door	0.599	0.0222
Crossmember Roof	1.199	0.0033
B-Pillar Ext	0.699	0.0391



(a) Intrusion displacement



(b) Intrusion velocity

Fig. 4 Intrusion displacement and velocity for each analysis

위에서 계산한 대표값을 적용하여 충돌해석을 수행하고 Fig. 3 (b)에 표시한 측정지점에서 침입거리 및 침입속도를 계산하고 Fig. 4 에 도시하였다. 여기서 침입량은 충돌 시 운전석으로 밀려들어오는 양을 의미한다. 적분점에서의 두께 및 유효변형률을 모두 적용하였을 때의 결과를 비교값으로 두고 유효변형률의 평균값을 적용하였을 때와 유효변형률 및 두께의 평균값을 적용하였을 때의 결과를 비교하였다. 세 경우 모두 성형이력을 전혀 고려하지 않은 경우보다 침입량이 작아지며 각 결과에 큰 차이가 없다. 유효변형률의 평균값을 적용한 해석의 경우 오차는 1% 미만이며 유효변형률 및 두께의 평균값을 적용할 경우 오차는 5.5% 이다. 침입속도의 경우 첫번째 극 값은 모든 해석에서 거의 동일한 값을 보이므로 두번째 극 값을 비교하였다. 성형이력을 고려하면 성형이력을 고려하지 않은 경우보다 침입속도가 줄어든다. 유효변형률의 평균값을 적용한 해석의 경우 오차는 1.5%이며 유효변형률 및 두께를 적용할 경우 오차는 8%로 나타났다. 해석결과로 보아 대표값으로 두께를 고려

하지 않고 유효변형률만을 고려하여 간단하게 성형이력을 고려하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 결론 및 토론

본 논문에서는 차량 구조부재의 성형이력을 하나의 대표값을 이용하여 나타내는 방법을 연구하였다. 각 절점에서의 두께 및 유효변형률의 평균값, 중간값을 대표값으로 놓고 프론트사이드 멤버 충돌해석을 수행한 결과 유효변형률의 평균값으로 부재의 성형이력을 대표할 수 있음을 확인하였다. 각 부재의 유효변형률의 평균값을 대표값을 하고 대표값을 충돌 해석 시 부재의 초기 변형률로 지정함으로써 차량충돌해석에서 간단하게 성형이력을 고려할 수 있다. 제안한 방법의 타당성을 확인하기 위하여 ULSAB/AVC 모델의 측면 충돌 해석을 수행한 결과 제안한 방법을 사용하였을 때의 모든 절점에서의 두께 및 유효변형률 분포를 고려한 방법과 비슷한 침입량과 침입속도를 보이는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 간단화한 성형이력 고려방법을 사용하기 위하여 각 부재의 대표값을 성형해석을 거치지 않고 계산할 수 있어야 한다. 이는 향후 과제로 연구 중이다. 또한 제안한 방법의 보편성을 검증하기 위하여 보다 많은 예제를 사용한 검증이 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] 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.*, 45,1645-1660, 2003.
- [2] 허훈, 윤종현, 바오이동, 김세호, 박성호, 박관성 평가공을 고려한 자동차 충돌해석, 한국소성가 공학회지, 제 15 권 제 8 호, 2006
- [3] 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", *International Journal of Automotive Technology*, 4 (3), 149-156, 2003.
- [4] S. Simunovic, J. Shaw, G. A. Aramayo, "Steel Processing Effects on Impact Deformation of Ultra Light Steel Auto Body", *SAE Paper*, 2001-01-1056, 2001.