

등가 드로오비드를 적용한 Front Side Member의 성형 해석 및 충돌 해석에의 적용

송정환*·김기풍*·김승호*·허 훈*·김현섭**·홍석길**

Forming Analysis of the Front Side Member with Equivalent Draw-bead and Application to Crash Analysis

J.H. Song, K.P. Kim, S.H. Kim, H. Huh, H.S. Kim and S.G. Hong

Abstract

This paper is concerned with a forming analysis of front side members and the application of the forming effect in crash analysis of auto-body. Drawbead restraining forces are calculated with ABAQUS/Standard in order to identify the boundary condition in forming process. Forming analysis with equivalent drawbead is carried out with LS-DYNA3D. In order to demonstrate the validity of the forming analysis, quantitative comparison of the thickness variation between the real product and the numerical simulation result is carried out. Forming histories obtained from the forming analysis are utilized as the initial condition of the crash analysis for accurate assessment of the crashworthiness.

Key Words : Front Side Member, Equivalent draw-bead, Forming Analysis, Crash Analysis

1. 서론

자동차 구조용 박판 부재들은 그 기능상 복잡한 형상으로 이루어져 있다. 복잡한 형상을 갖는 자동차 구조용 박판 부재들은 대부분 박판 성형 공정에 의하여 생산된다. 성형과정에서는 부재의 형상과 성형 조건에 따라 주름, 파단 등이 발생할 수 있고 변형이 집중되어 물성의 변화가 발생하고 두께 및 변형률 등의 분포가 불균일해진다. 성형과정에서 발생한 성형이력들은 박판부재의 충돌특성에 영향을 주고, 성형효과를 고려하지 않은 부재의 충돌특성과는 큰 차이를 보이게 된다. 그러나 기존의 많은 연구들은 부재의 성형과정에서 발생하는 불균일한

두께 및 변형률 분포 등과 같은 부재의 성형이력을 고려하지 않고 부재의 설계단계에서 주어진 최종 형상만을 대상으로 충돌해석을 수행하여 왔다. 따라서 충돌해석이 높은 신뢰성을 갖기 위해서는 정확한 박판성형 공정해석을 수행하여 성형이력을 확보하고 이를 충돌해석에 적용할 필요가 있다.

본 논문에서는 차체 충돌시 초기변형에 영향을 미치는 Front Side Member의 성형해석을 통하여 성형이력을 계산하고 이를 충돌해석에 적용하였다. 정확한 성형이력의 계산을 위하여, 비드 성형과정 후에 인발 공정시의 등가 구속력을 계산하고, 이를 부재의 성형해석에서의 등가비드력으로 적용하였다. 계산된 성형해석 결과

* 한국과학기술원 기계공학과

** 기아자동차 승용차체설계3팀

본 논문에서는 차체 충돌시 초기변형에 영향을 미치는 Front Side Member의 성형해석을 통하여 성형이력을 계산하고 이를 충돌해석에 적용하였다. 정확한 성형이력의 계산을 위하여, 비드 성형과정 후에 인발 공정 시의 등가 구속력을 계산하고, 이를 부재의 성형해석에서의 등가비드력으로 적용하였다. 계산된 성형해석 결과는 현품의 성형결과와 비교하여 성형 해석 결과의 타당성을 검증하였고 이를 충돌해석에 적용하였다.

2. Front Side Member의 성형해석

Front Side Member는 정면충돌시에 초기에너지 흡수 부재로 Fig 1 에 도시된 7개의 부재로 구성된다. 본 장에서는 충돌특성에 직접적인 영향을 주는 frame_frft_in, frame_frft_out_A, reinf_frft_frame_A, reinf_frft_frame_C 4개의 부재에 대하여 성형 해석을 수행하였다.

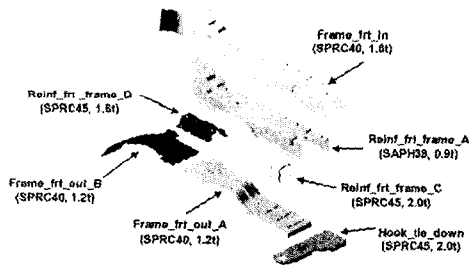


Fig.1 Composition and of Front Side Members

2.1 등가 드로오비드력 계산

드로오비드 성형 공정에 관한 유한요소 해석을 수행하기 위하여 4개 부재의 금형 모델로부터 비드의 형상 데이터를 추출하고 이를 바탕으로 드로오비드 펀치와 금형의 모델링을 수행하였다. 본 논문에서는 보다 정확한 박판 성형공정의 해석을 위하여 바인더랩 공정과 인발공정을 해석하여 드로오비드의 구속력을 계산하였다. 유한요소 해석은 정확한 구속력 계산을 위하여 내연적 탄소성프로그램인 ABAQUS/Standard를 이용하였다. 각 성형부재에 사용된 원형비드 및 사각비드의 기본형상은 Fig. 2와 같고, 원형비드의 형상 치수는 Table 1에 정리하였다. Reinf_frft_frame_A에 사용되는 사각비드의 치수는 $H=6\text{ mm}$, $L=7.65\text{ mm}$, $r_1=2.18\text{ mm}$, $r_2=1.5\text{ mm}$ 이다. 판재의 유한요소 모델은 굽힘을 잘 묘사할 수 있도록 4개의 층으로 구성하였다. 해석에 사용한 각 판재의 물성은 Table 2와 같다.

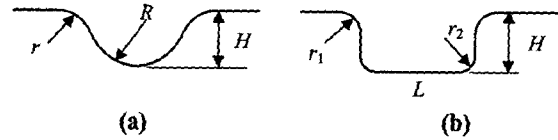


Fig.2 Geometric shapes of drawbeads in the front side member: (a) circular drawbead; (b) rectangular drawbead

Table 1 Dimensions of circular drawbeads in the front side member.

Part	Bead Type	R	r	H
Frame_frft_in	Circular bead	4.8	6.2	3.0
Frame_frft_out_A	Circular bead	4.0	5.2	6.0
Reinf_frft_frame_A	Circular bead 1	4.5	3.8	3.2
	Circular bead 2	4.5	3.8	5.2
Reinf_frft_frame_C	Circular bead 1	6.5	4.7	3.0
	Circular bead 2	6.5	4.7	5.0
	Circular bead 3	6.5	4.7	6.0

Table 2 Flow stress curve of material for forming analysis

Material	Flow Stress Curve
SPRC40	$\bar{\sigma} = 734.7(0.01 + \bar{\epsilon})^{0.245}$ (MPa)
SAPH38	$\bar{\sigma} = 768.5(0.023 + \bar{\epsilon})^{0.285}$ (MPa)
SPRC45	$\bar{\sigma} = 823.8(0.012 + \bar{\epsilon})^{0.229}$ (MPa)

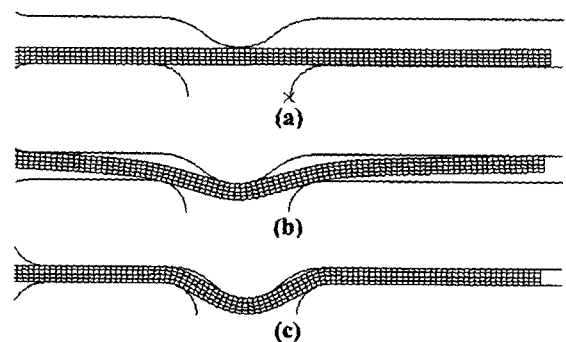


Fig. 3 Deformed shapes of the blank during the bead formation process of circular drawbead in frame_frft_in: (a) initial state; (b) punch stroke = 1.5 mm; (c) punch stroke = 3 mm.

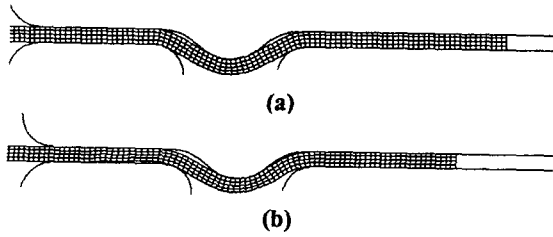


Fig. 4 Deformed shapes of the blank during the drawing process of circular drawbead in frame_frt_in: (a) initial state; (b) 10 mm extension.

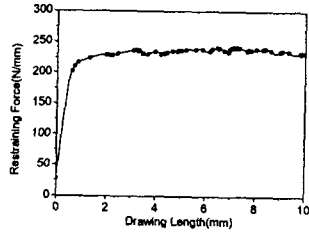


Fig. 5 Restraining force with respect to the drawing length of drawbead in the frame_frt_in.

Table 3 Restraining force of drawbeads in the front side member.

Part	Bead Type	Restraining Force (N/mm)
Frame_frt_in	Circular bead	226
Frame_frt_out_A	Circular bead	243
Reinf_frt_frame_A	Circular bead 1	246
	Circular bead 2	271
	Rectangular bead	294
Reinf_frt_frame_C	Circular bead 1	217
	Circular bead 2	235
	Circular bead 3	278

Fig. 3 및 Fig. 4에 Frame_frt_in의 성형에서 사용되는 원형비드의 성형과정과 인발과정에서의 변형형상을 도시하였다. Fig. 5는 Frame_frt_in의 원형비드에 관하여 인발량에 따른 드로오비드의 구속력을 도시한 것이다. 다른 부재의 드로오비드 해석도 이와 같은 방법으로 수행하였다. 각 부재의 드로오비드 해석에서 계산된 드로오비드의 등가 구속력은 Table 4에 정리하였다. 드로오비드 해석에서 Reinf_frt_frame_A의 성형에서 사용되는 사각비드는 큰 구속력을 가지고 판재의 유입을 억제하는 역할을 하는 것으로 나타났다.

2.2 Front Side Member의 성형공정 해석

Front Side Member의 성형이력을 계산하기 위하여 이를 구성하는 4개의 부재에 관하여 성형해석을 수행하였다. 각 부재의 성형해석은 LS-DYNA3D를 이용하였고, 다이, 펀치, 블랭크홀더를 각각 구성하였으며, 판재와 금형사이의 마찰계수는 0.15, 블랭크 홀딩력은 100 kN으로 부과하였다. 앞 절에서 얻어진 드로오비드의 구속력을 등가 드로오비드의 경계조건으로 적용하였다.

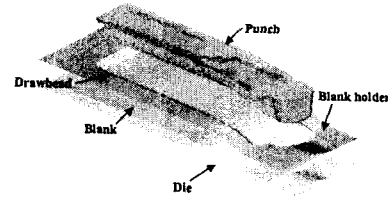


Fig. 6 Initial setting of tools and blank for the analysis

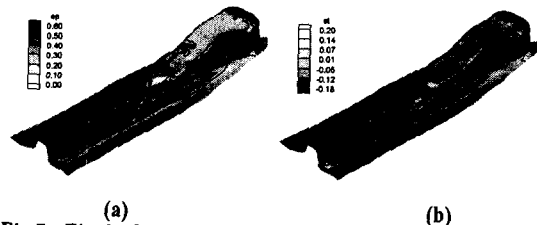


Fig. 7 Final forming results of the frame_frt_in: (a) distribution of the effective plastic strain; (b) distribution of the thickness strain.

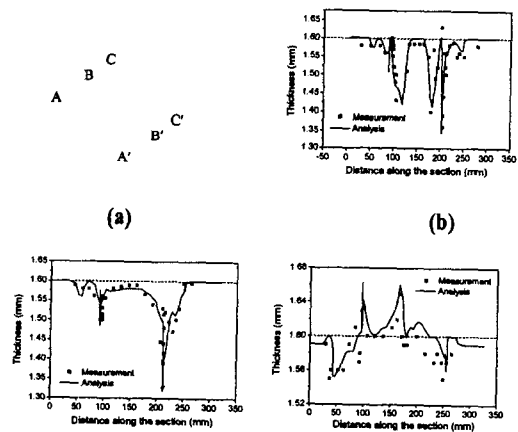


Fig. 8 Comparison of thickness distributions of the frame_frt_in: (a) measured section (b) section A-A (c) section B-B (d) section C-C.

Fig. 6은 frame_frt_in의 금형시스템을 나타내는 그림이다. Fig. 7은 frame_frt_in의 성형 후의 유효소성변형을 분포와 두께 분포를 도시한 것이다. 성형 해석의 결과를 검증하기 위하여 계산된 두께 분포는 실제 생산품의 두께 측정결과와 비교하였다. Fig. 8은 frame_frt-in에 관하여 3개의 단면에서 두께를 정량적으로 비교하여 도시한 것이다. 이는 본 논문에서 수행한 Front Side Member 각 부재의 유한요소 성형 해석의 결과가 신뢰성이 높다는 것을 설명한다.

3. 충돌해석에의 적용

성형이력이 충돌해석에 미치는 효과 조사를 위하여 성형효과를 고려한 Front Side Member의 충돌해석을 수행하였다. 성형해석에서 얻은 유효소성변형을 분포와 두께의 분포는 정확한 충돌해석을 위하여 충돌 해석 모델에 사상하여 충돌해석의 초기조건으로 고려하였다. Front Side Member의 충돌해석에 관한 경계조건은 Front Side Member의 한쪽 끝단은 고정하고 다른 끝단에는 200 kg의 강체벽이 13.3 m/s의 초기속도로 30 msec동안 충돌하는 해석을 수행하였다.

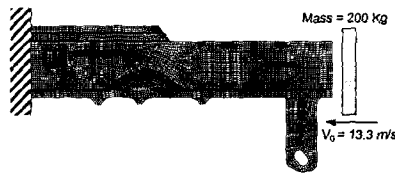


Fig. 9 Schematic diagram for crash analysis of the front side member

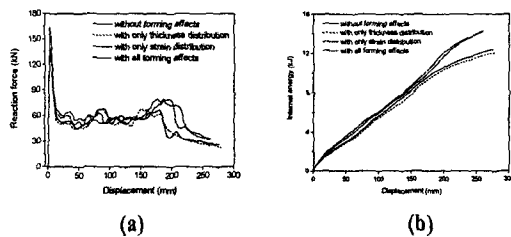


Fig.10 Comparison of crash analysis result: (a) reaction force; (b) energy absorbed.

Front Side Member의 충돌해석은 먼저 성형해석에서 계산된 성형이력을 고려하여 해석을 수행하고, 성형효과를 고려하지 않은 경우와 충돌 하중 및 에너지 흡수율을 비교하였다. 각 해석 모델에 대한 충돌 하중 및 에너지 흡수율은 Fig. 10에 도시하였다. 성형효과

를 고려한 경우충돌 하중 및 에너지 흡수율이 압괴 거리에 대하여 5~17%정도 증가하는 경향을 보인다. 위와 같은 결과들은 정확하게 충돌하중과 에너지 흡수량을 계산하기 위하여는 성형과정에서 나타난 변형경화의 영향을 고려하여야 한다는 것을 설명한다.

4. 결론

본 논문에서는 박판 성형공정에서 생산되는 Front Side Member 성형해석을 수행, 성형이력을 계산한 후 이를 고려하여 충돌해석에 적용하였다. Front Side Member의 성형해석에서는 우선 드로오비드의 구속력을 계산한 후 이를 등가드로오비드에 적용하여 부재의 성형해석을 수행하였다. 그리고 실제 제품과의 두께비교를 통하여 해석의 타당성을 검증하였다. 충돌해석의 경우, 성형이력의 효과를 충돌하중 및 에너지 흡수율을 비교를 통하여 확인하였다. 따라서 성형공정에서 제작되는 Front Side Member의 변형형상, 충돌하중 및 에너지 흡수능력을 정확하게 예측하기 위하여는 충돌해석 시에 성형이력을 고려하는 것이 필수적인 것으로 평가되었다.

참고 문헌

- (1) Kellicut, A., Cowell, B., Kavikondala, K., Dutton, T., Iregbu, S. and Sturt, R. 1999, "Application of the Results of Forming Simulation in Crash Model," Proc. NUMISHEET'99, pp. 509-514
- (2) Choi, C. H., Huh, H., Chun B. K. and Lee, J. H., 1997, "Draw-bead Simulation by an Elasto-Plastic Finite Element Method with Directional Reduced Integration," J. Mater. Process. Technol., Vol. 63, 1997, pp. 666-671.
- (3) Meinders, T., Geijselers, H. J. M. and J. Huétink, "Equivalent Drawbead Performance in Deep Drawing Simulations," Proc. NUMISHEET' 99, Besancon, France, 1999, pp. 243-248
- (4) Kim, K. P. and Huh, H., 2003, "Collapse Analysis of an Auto-Body Structure by a Finite Element Limit Method, Proc. 6th USNCCM, U.S.A., 2003, pp. 737-742