

직접격자 사상법을 이용한 S-rail 성형공정의 유한요소 역해석 및 성형효과를 고려한 충돌해석

김승호* · 허 훈*

Finite Element Inverse Analysis of an S-rail Forming Process with Direct Mesh Mapping Method and Crash Analysis considering Forming Effects

Seung-Ho Kim and Hoon Huh

Abstract

The automotive industry have made an effort to reduce the weight of vehicle structures with increased safety, while initial model of the final product does not contain any prehistoric effects in a design stage. It takes lots of time to calculate forming effects that have great influences on the energy absorption of structures. In this paper, finite element inverse analysis is adopted to calculate forming effects, such as thickness variation and effective plastic strain as well as an initial blank shape with small amount of computation time. Crash analysis can be directly performed after inverse analysis of the forming process without remeshing scheme. The direct mesh mapping method is used to calculate an initial guess from the sliding constraint surface that is extracted from the die and punch set. Analysis results show that energy absorption of structures is increased with consideration of forming effects and finite element inverse analysis is usefully applicable to calculate forming effects of vehicle structures for the crash analysis.

Key Words : Direct Mesh Mapping Method, Inverse Finite Element Analysis, Initial Guess, S-Rail Forming Process, Crash Analysis, Forming Effects

1. 서 론

운송수단의 대량생산 및 이용으로 막대한 화석에너지가 사용되어 환경오염 문제의 해결과 에너지 절감의 필요성이 절실히 요구되고 있으며, 이러한 문제를 해결하

려는 노력의 일환으로 연비향상을 목적으로 하는 차체 경량화 기술의 개발은 새로운 과제로 인식되고 있다. 컴퓨터를 이용한 유한요소 해석 기법의 발전에 따라 근래에는 초기의 차체 설계에 유한요소를 이용한 모의 해석을 통하여 시간과 비용을 최소화 하는 연구가 수행되고 있으나, 대부분 차체의 성형해석과 충돌해석을 별개의

* 한국과학기술원 기계공학과

연구로 진행하고 있는 실정이다. 차체의 경량화는 충돌 안전성을 확보한 상태에서 이루어져야 하기 때문에 정확한 성형이력을 고려한 충돌해석을 바탕으로 안정적인 경량 차체설계가 이루어져야 할 것이다. 현재까지 성형이력을 고려하며 충돌특성을 향상시키기 위한 차체의 설계에 관한 연구는 미국, 일본 등의 자동차 회사를 중심으로 시도되고 있으나 성형이력의 계산에 소모되는 시간이 막대하여 실제의 차체 설계에 반영되지 못하는 실정이다. Kellicut등⁽¹⁾은 하이드로포밍으로 제작된 S-rail의 충돌해석을 성형이력을 고려하여 수행하여 에너지 흡수능능이 기존의 해석보다 더 크게 예측됨을 발표하였고, Mikami등⁽²⁾은 일반적인 성형공정을 이용한 박관구조물의 충돌해석에 성형이력을 고려하였다. Lee등⁽³⁾은 성형이력을 고려한 S-rail과 하이드로포밍으로 제작된 튜브의 충돌해석을 수행하였고, Kim과 Huh등⁽⁴⁾, Suh등⁽⁵⁾은 성형이력을 고려한 S-rail의 충돌해석을 수행하였다.

직접해석을 통해 성형이력을 계산하려면 성형해석, 트리밍해석, 스프링백 해석을 모두 수행하여야 하며 해석시간이 상당히 많이 요구된다. 성형이력을 계산하는데 있어서, 변형이론을 근간으로 한 유한요소 역해석을 이용하면, 짧은 계산 시간으로 최종 형상의 변형을 분포와 초기 블랭크의 설계를 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한, 유한요소 역해석은 최종형상의 격자가 변하지 않기 때문에, 성형해석을 통해 발생하는 격자의 뒤틀림을 보완하기 위한 격자의 재구성(remeshing) 없이 바로 충돌해석에 적용할 수 있는 장점이 있다. 차체용 구조부재는 대부분 수직벽의 경사가 크고 형상이 복잡하여 기하학적 사상법⁽⁶⁾, 선형역사상⁽⁷⁾등과 같은 기존의 방법으로는 초기 추측치를 구하기가 난해하여 해석이 어려운 단점이 있다. Kim과 Huh⁽⁸⁾는 최종 형상에 맞는 초기 격자를 직선들로 구성하고 구성된 유한요소 격자를 다이와 펀치로부터 추출한 미끄럼 구속면에 직접 사상하여 초기 추측치를 계산하는 직접격자 사상법(Direct Mesh Mapping Method)를 제안하였다.

본 논문에서는 유한요소 역해석을 이용하여 S-rail의 성형공정을 해석하여 두께 변형률, 유효 소성변형률 등의 성형이력을 계산하였다. 직접해석에 이용되는 다이와 펀치로부터 미끄럼 구속면을 추출하고 직접격자 사상법을 이용하여 초기 추측치를 계산하였다. 계산된 성형이력을 이용하여 S-rail의 충돌해석을 수행하였고, 직접해석을 통해 계산한 성형이력을 이용한 충돌해석 결과와 비교하여 유효성을 검증하였다.

2. 직접격자 사상법을 이용한 초기추측치의 계산

직접 격자 사상법은 최종형상의 격자에 맞는 직선들을 구성하고 이 직선들로 격자를 구성한 후, 직선들을 미끄럼 구속면에 직접 사상함으로써 초기 추측치를 계산하는 방법이다⁽⁸⁾. 미끄럼 구속면은 직접해석에 이용되는 다이와 펀치로부터 추출되고, 최종형상에 알맞은 방사형 또는 평행선형의 직선들을 정의한다. 최종형상의 격자에 맞게 시작 직선을 정의하고 격자를 구성한 후 구성된 격자를 직선의 절점별로 미끄럼 구속면에 위치시키게 된다. Fig. 1은 이와 같은 직접 격자 사상법의 절차를 나타낸 것이다. 해석에 사용한 S-rail 모델은 NUMISHEET '96에서 성형해석 예제로 제시된 것으로, Fig. 2는 해석에 사용한 S-rail의 형상 및 크기를 나타낸 것이다.

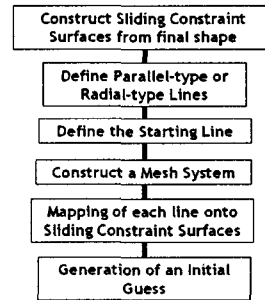


Fig. 1 Schematic procedure of a direct mesh mapping method

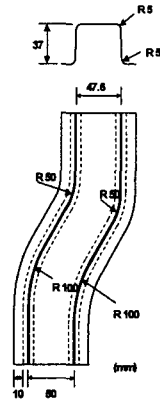


Fig. 2 Dimensions of the S-rail part

Fig. 3는 S-rail의 유한요소 역해석을 위한 미끄럼 구속면의 구성을 나타낸 것이고, Fig. 4는 직접격자 사상법을 이용해 구한 S-rail의 초기 추측치와 최종형상을 나타낸 것이다. 수직벽의 경사가 크고 형상이 복잡하지만 적절한 사상이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 직접 격자 사상법은 기존의 방법에 비해서 최종 형상과 초기 형상의 격자를 모두 새로 구성해야 하는 단점이 있지만 수직벽의 경사가 큰 경우나 세장비가 큰 경우에도 적절한 초기 추측

치를 구함으로서 유한요소 역해석을 수행할 수 있고, 해석의 정확도를 높이기 위해 다단계로 쉽게 확장 할 수 있는 장점이 있다.

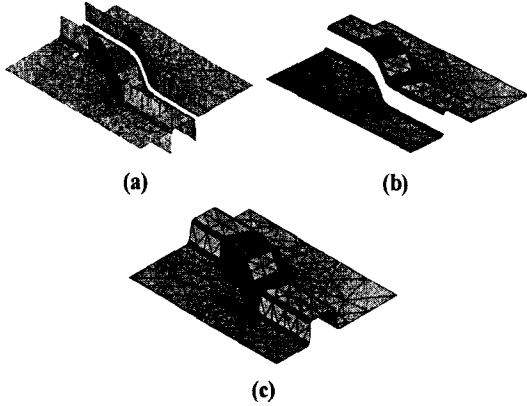


Fig. 3 Procedure of constructing sliding constraint surfaces for the S-rail forming process: (a) die and punch set; (b) initial set up; (c) constructed sliding constraint surface

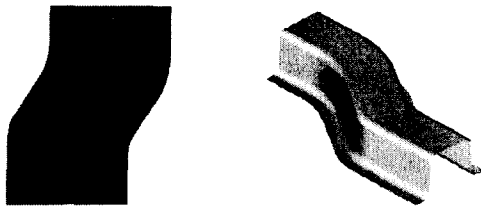


Fig. 4 Calculated initial guess and final shape for the analysis of the S-rail forming process

3. S-rail 성형공정의 유한요소 해석

충돌해석에 이용할 성형이력을 계산하기 위해서 본 논문에서는 유한요소 역해석을 이용하여 성형공정의 해석을 수행하고, 직접해석 결과와 비교하였다. 초기 블랭크는 초기 두께 1 mm의 IF 강판으로 수직이방성을 가정하였고, 마찰계수는 0.15, 블랭크 홀딩력은 10KN으로 부가하였다. 역해석은 직접격자 사상법을 이용하여 계산한 초기추측치와 최종형상을 적용하여 해석을 수행하였고, 직접해석은 DYNA-3D를 이용하여 펀치성형, 트리밍공정, 스프링백 해석의 순으로 수행된 결과를 이용하였다⁽⁴⁾. 성형된 두개의 S-rail 부품의 상하 플랜지를 접합하여 충돌해석에 바로 이용할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 계산된 S-rail의 최종 형상의 두께분포를 비교한 것이고, Fig. 6는 단면별 두께분포를 정량적으로 비교한 것이다. 대체적인 양상은 비슷하게 예측되고 있으나, 유한요소 역해석의 경우가 직접해석에 비해서 과대하게 평가되고 있음을 알 수 있는데,

이는 1단계로 해석을 수행했기 때문이다. 다단계 유한요소 역해석을 이용하면 이러한 오차는 줄어들 것으로 예상되어 진다.

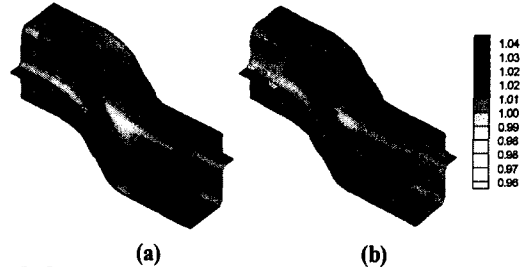


Fig. 5 Comparison of calculated thickness distribution : (a)from inverse analysis; (b)from direct analysis

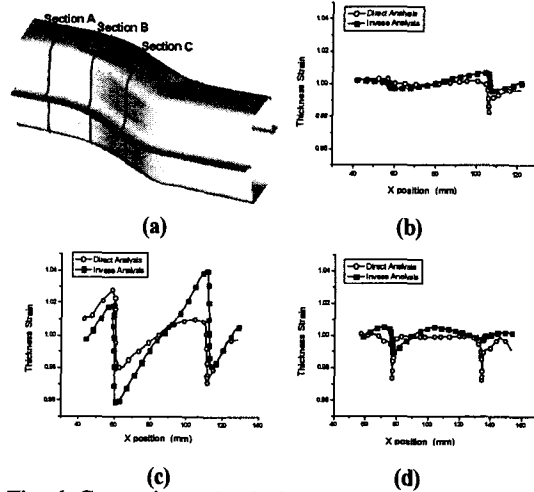


Fig. 6 Comparison of calculated thickness distribution : (a) Section division; (b) along section A; (c) along section B; (d) along section C

4. 성형이력을 고려한 S-rail의 충돌해석

본 절에서는 유한요소 해석으로 구한 성형이력을 고려하여 S-rail의 충돌해석을 DYNA-3D를 이용하여 수행하였다. S-rail의 끝단에서 강체가 48 Km/h로 충돌하였을 경우 변형 형상과 에너지 흡수율, 반발 하중을 비교하였다. 직접해석 결과를 이용한 충돌해석의 경우는 성형이력을 고려하지 않은 경우와 전체 성형이력을 고려한 경우를 해석하였고, 역해석 결과를 이용한 충돌해석의 경우는 성형이력을 고려하지 않은 경우와 두께 분포와 유효소성 변형률을 고려한 경우에 대해서 해석결과를 비교하였다. Fig. 7은 역해석 결과를 이용한 충돌해석의 경우 시간에 따른 변형 양상을 비교한 것이다. 대부분의 변형이 굴곡부에 집중되어 플랜지 부분과 측면부가 접히는 현상이 발생하고 있다. Fig. 8은 흡수된 에너지를 비

교한 것이고, Fig. 9는 수직벽에서의 반발 하중을 비교한 것이다. 직접해석을 이용하여 계산한 성형이력을 고려한 경우가 에너지 흡수율 및 반발 하중이 더 큼을 알 수 있다. 이는 성형해석 시에 상부의 형상차이와 유효소성 변형률의 계산이 역해석과 차이를 보이고 있기 때문이다. 성형이력을 고려하지 않은 경우에 비해서 성형이력을 고려한 경우가 에너지 흡수율이 약 15% 정도 차이를 보이고 있음을 알 수 있고, 경량 차체 설계를 위해서는 충돌 해석 시에 성형이력을 반드시 고려해야 함을 알 수 있다.

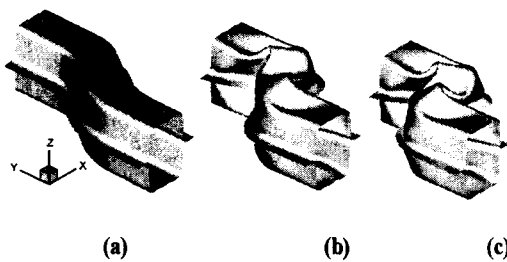


Fig. 7 Deformed shape with respect to the time considering forming effects from inverse analysis: (a) initial; (b) 3 sec.; (c) 5 sec.

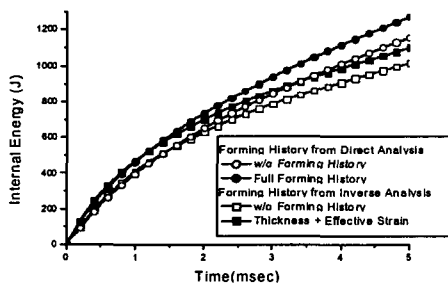


Fig. 8 Comparison of the absorbed energy

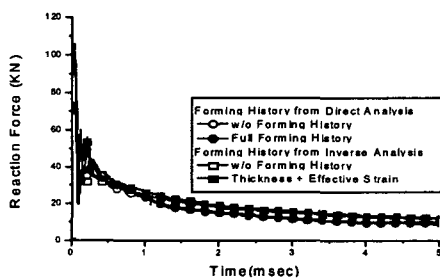


Fig. 9 Comparison of reaction forces normal to the wall

5. 결론 및 토론

본 논문에서는 직접격자 사상법을 이용하여 S-rail의

성형이력을 유한요소 역해석을 이용하여 해석하였고, 직접해석의 결과와 비교하였다. 계산된 성형이력을 적용하여 충돌해석을 수행하여 유한요소 역해석을 이용한 성형이력 계산의 유효성을 확인하였다. 유한요소 역해석을 이용하면 해석시간의 현저한 감소 뿐 아니라, 요소의 뒤틀림으로 인한 격자 재구성을 하지 않고 바로 충돌해석을 수행할 수 있는 장점이 있다. 성형이력을 고려한 경우가 에너지 흡수율이 커서 경량 차체의 설계를 위해서는 충돌해석 시에 성형이력의 고려가 필요함을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) A. Kellicut, B. Cowell, K. Kavikondala, T. Dutton, S. Tregbu and S. Sturt, 1999, "Application of the Results of Forming Simulation in Crash Models," proc. NUMISHEET'99, pp. 509~514.
- (2) H. Mikami, H. Suzuki, M. Ishizawa and Y. Matsuka, 1999, "Crash Simulations Considered Influence of Stamping," proc. HANPAM99, pp. 189~200.
- (3) S. H. Lee, C. S. Han, S. I. Oh and P. Wriggers, 2001, "Comparative crash simulations incorporating the results of sheet forming analyses", Int J. for Computer-Aided Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 744~758.
- (4) K. P. Kim, H. Huh and S. H. Kim, 2001, "Collapse Analysis of Thin-walled Structures for an Auto-body Considering Forming Effects", proc. KSAE, Fall Conference, Vol. II, pp. 984~989.
- (5) Y. S. Suh, Y. H. Kim and S. W. Kim, 1996, "Virtual Manufacturing Applications on the Integrated Structural Design of Sheet-Forming Products", NUMISHEET'96, pp. 144~150.
- (6) Sowerby. R., Duncan, J. L. and Chu. E., 1986, "The Modelling of Sheet Metal Stamping", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, pp. 415~430.
- (7) Lee, C. H. and Huh, H., 1997, "Blank Design and Strain Prediction of Automobile Stamping Parts by an Inverse Finite Element Approach", J. Mater. Process. Technol., Vol. 63, pp.645~650.
- (8) S. H. Kim and H. Huh, 2001, "Three Dimensional Finite Element Inverse Analysis of Rectangular C-up and S-Rail Forming Processes using a Direct Mesh Mapping Method", Proc. KSTP, Fall Conference, pp. 81~84.