

## 자동차용 범퍼 압출 공정의 유한요소해석

김광희<sup>#</sup>, 윤문철<sup>\*</sup>

### Finite Element Analysis of the Extrusion Process for an Automobile Bumper

Kwang-Heui Kim<sup>#</sup>, Moon-Chul Yoon<sup>\*\*</sup>

#### ABSTRACT

The development of an aluminum bumper is required in order to reduce the weight of the automobile. An porthole die extrusion process is simulated by the finite element method in order to develop the aluminum bumper which is manufactured by hollow section extrusion. The general-purpose finite element analysis software is used. The developed analysis method can be applied to the optimization of the porthole die extrusion process for the aluminum bumper.

**Key Words** : Finite Element Analysis (유한요소해석), Porthole Die Extrusion(포트홀 금형 압출), Aluminum Bumper (알루미늄 범퍼)

#### 1. 서 론

세계적인 에너지 부족 문제와 지구 온난화 등의 환경 문제에 대처하기 위하여 자동차의 연비는 대폭 향상시키고 유해 배기가스 배출량은 감소시킬 것을 요구받고 있으며 이를 위해서는 획기적인 차량의 경량화가 절대적으로 수행되어야 한다. 그러나 자동차의 안전성 및 주행 편의성 등에 대한 소비자의 요구는 계속 증대되고 이를 만족시키기 위해서 기능성 부품의 수와 중량은 오히려 증가되는 추세에 있다. 따라서 자동차의 성능은 향상시키면서도 친환경적인 경량화를 이루기 위해서는 알루미늄, 마

그네슘 등의 재활용이 가능한 경량소재들로 만들어진 주요 자동차 부품들의 개발이 절실히 요구되고 있다.

밀폐된 단면형상을 가지면서 길이가 비교적 긴 알루미늄 범퍼를 경제적으로 생산하기 위한 한 가지 방법으로 포트홀 금형 압출(porthole die extrusion)<sup>[1-3]</sup>공정을 통한 방법이 있다. 그러나 이 공정에서는 압출비가 크고 여러 갈래로 나뉜 소재가 접합실(welding chamber)에서 불균일한 유동을 하게 되어 경험에 의하거나 시행착오에 의해서는 결함이 없는 제품을 얻기가 매우 힘들다. 따라서 본 연구에서는 자동차의 경량화를 위한 고품질 알루미늄 범퍼의 개발에 적용하기 위하여 범용 유한요소해석 소프트웨어를 이용한 포트홀 금형 압출 공정을 해석하였다.

# 교신저자 : 부경대학교 기계공학부  
E-mail : khk@pknu.ac.kr

\* 부경대학교 기계공학부

## 2. 유한요소해석

유한요소해석 소프트웨어로는 일반 단조업체에서 복잡한 금형도 비교적 수월하게 처리할 수 있는 기능을 가진 범용 유한요소해석 소프트웨어인 MSC.SuperForm을 사용하였다. 현재 자동차용 범퍼의 소재로 새로 개발 중인 알루미늄 합금의 물성이 알루미늄 7075의 것과 매우 유사할 것으로 예측되므로 우선 해석 소프트웨어에 내장된 알루미늄 7075의 데이터를 이용하였고 추후 알루미늄 합금의 개발이 완료되면 물성 시험을 통하여 얻은 데이터를 이용한 해석을 수행하기로 하였다. 압출비가 높은 관계로 매우 많은 유한요소가 필요하게 되어 해석 시간의 단축을 위하여 강소성(rigid-plastic)으로 해석을 수행하였다.

Fig. 1은 해석에 사용된 현재 개발 중인 알루미늄 범퍼의 단면모습이다. 중량을 줄이기 위하여 내부가 비어 있는 형상이고, 강성을 높이기 위하여 내부에 격벽이 있는 밀폐된 단면 형상을 이루고 있다. 또한 비교적 압출이 용이하도록 상하 좌우가 대칭 형상을 이루고 있다. 추후 이 형상은 좀 더 성능이 개선되도록 비대칭 형상으로 최적화될 계획이다.

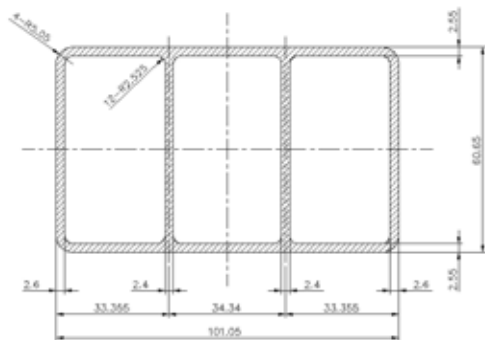


Fig. 1 Cross-section of the aluminum bumper

포트홀 금형 압출은 브리지(bridge)를 가진 접합실 방식으로, 파이프같이 내부가 빈 단면형상을 가진 길이가 긴 제품을 연속적으로 생산할 수 있기 때문에 고품질의 범퍼를 저렴하게 생산할 수 있는 장점이 있다. 그러나 높은 단면감소율과 접합실 내에서의 분균 일한 소재의 유동으로 인하여 결함이 발생할 위험이 매우 높다. 따라서 유한요소해석 등의 공정 해석 방

법의 도움이 매우 필요한 실정이다. Fig. 1에서 보인 현재 개발 중인 범퍼를 압출하기 위한 금형으로 설계된 포트홀 압출 금형의 도면을 Fig. 2에 나타내었다.

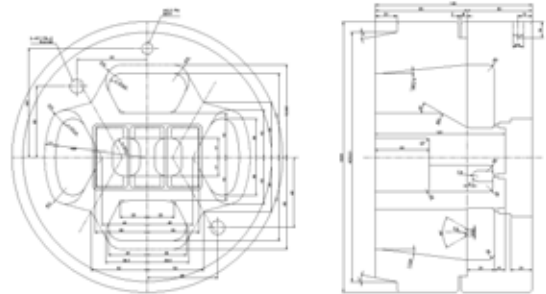


Fig. 2 Porthole extrusion die for the aluminum bumper

Fig. 3은 압출 금형과 초기 알루미늄 빌렛(billet)을 유한요소해석 소프트웨어인 MSC.SuperForm에서 모델링한 모습이다. 제품의 단면모습이 상하 좌우 대칭 형상이므로 전체의 1/4인 제 1사분면만 모델링하여 해석을 수행하였다. 실제 공정에서는 한 개의 빌렛을 장착하여 여러 개의 제품을 압출하는 것이 경제적이므로 초기 빌렛의 길이가 매우 길지만 전체를 모델링하려면 과도하게 많은 요소가 필요하게 되고 공정 특성상 압출 금형 주변에서 변형이 주로 발생하므로 요소 수를 줄이기 위하여 초기 상태로부터 접합실을 채

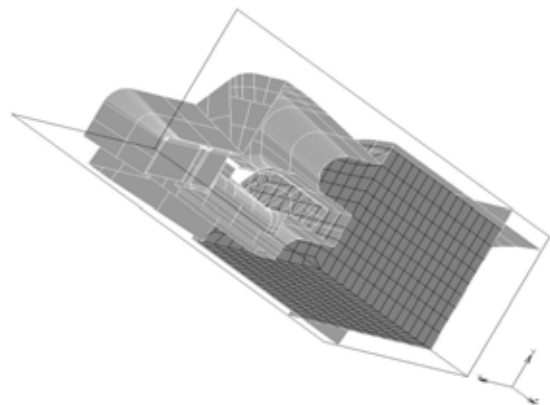


Fig. 3 Initial mesh system and porthole extrusion die model

우고 선단이 압출되어 나올 정도의 체적만 갖도록 빌렛의 길이를 줄여서 모델링하였다. 해석 초기의 요소 수는 1,500개로 잡았고 해석을 진행하면서 변형이 많이 발생하는 부분의 요소를 세분화하면서 격자를 재구성(remesh)하였다. Fig. 3에서 yz평면 및 zx평면이 대칭면을 나타내며 램(ram)은 -z축 방향으로 이동하도록 하였다.

압출 온도는 500°C로 선정하였고 램의 속도는 2mm/s로 잡았다. 실제 공정에서는 소재가 접합실에서 완벽하게 접합되어야 하므로 윤활제의 사용은 허용되지 않는다. 따라서 마찰계수가 전단계수와 같다고 볼 수 있으므로 마찰 상수(friction factor)  $m$ 는 1로 잡아야 한다. 이렇게 마찰 상수가 과도하게 크면 금형과 소재의 접촉면 근처에서 변형이 심하게 발생하게 되므로 정확한 해석 결과를 얻기 위해서는 역시 이 부분에 많은 요소가 필요하게 된다. 그러나 해석에 사용된 컴퓨터 및 소프트웨어의 제약으로 인하여 요소 수를 줄이고 해석 시간을 단축하기 위하여 우선  $m=0.15$ 로 잡고 해석을 시도하였고 추후 컴퓨터와 소프트웨어의 성능이 개선되면  $m=1$ 로 설정하여 다시 해석을 수행하기로 하였다.

### 3. 해석 결과 및 검토

Fig. 3에 보인 초기 상태에서부터 10.28초가 경과한 후의 상당 소성 변형률속도(equivalent plastic strain

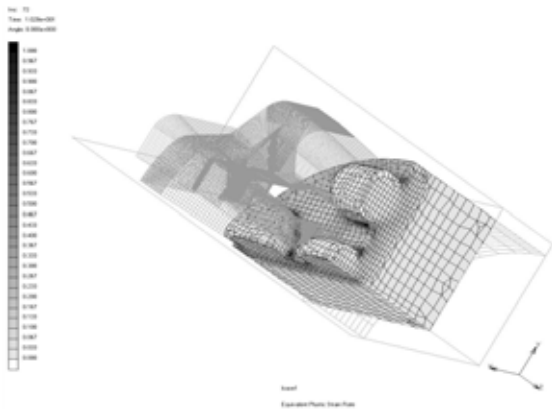


Fig. 4 Distribution of the equivalent plastic strain rate after 10.28 sec

rate)의 분포를 Fig. 4에, z 방향 속도 성분 분포를 Fig. 5에 각각 보여주고 있다. 초기에 한 개의 덩어리였던 소재가 여러 부분으로 나뉘는 부분에서 많은 변형이 발생함을 볼 수 있고 각 부분의 압출 방향(z 방향) 속도 성분의 분포는 거의 비슷함을 알 수 있다.

초기 상태에서부터 20.72초가 경과한 후의 상당 소성 변형률속도의 분포를 Fig. 6에, z 방향 속도 성분 분포를 Fig. 7에 각각 보여주고 있다. 가운데 영역에서 다시 두 영역으로 나뉘는데 이 부분에서 변형이 많이 발생하고 따라서 바깥쪽 영역에 비하여 z 방향 속도 성분이 약간 줄어드는 것을 알 수 있다.

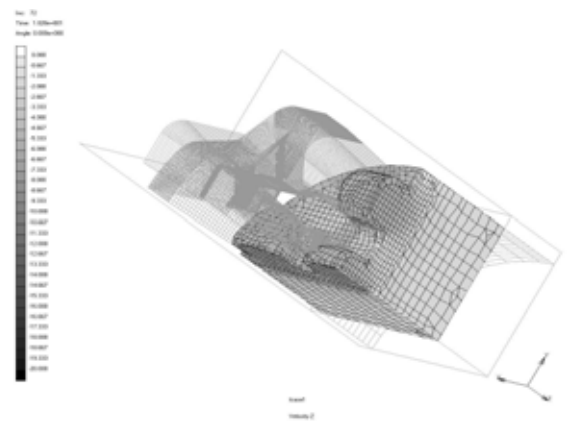


Fig. 5 Distribution of the velocity component in the z direction after 10.28 sec

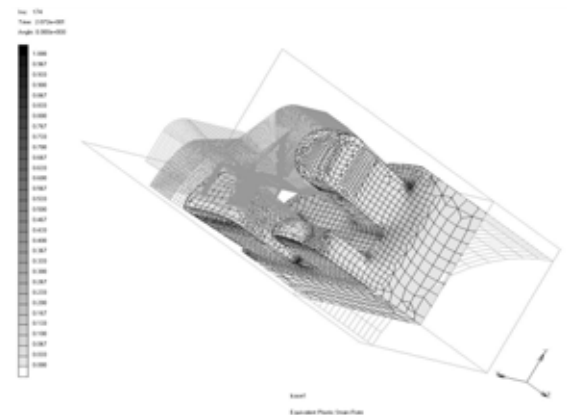


Fig. 6 Distribution of the equivalent plastic strain rate after 20.72 sec

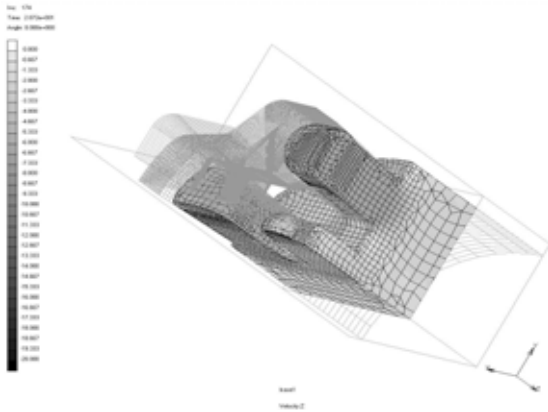


Fig. 7 Distribution of the velocity component in the z direction after 20.72 sec

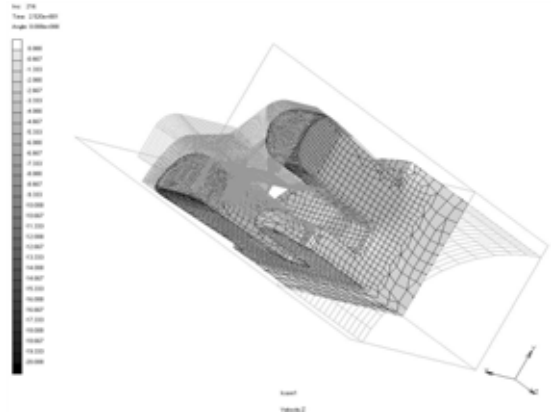


Fig. 9 Distribution of the velocity component in the z direction after 25.20 sec

초기 상태에서부터 25.20초가 경과한 후의 상당 소성 변형률속도의 분포를 Fig. 8에, z 방향 속도 성분 분포를 Fig. 9에 각각 보여주고 있다. Fig. 8에서 바깥쪽 두 영역 중 오른쪽에 위치한 영역이 좀더 빨리 압출되어 접합실 바닥에 먼저 접촉하기 시작하는 것을 볼 수 있다.

초기 상태에서부터 33.41초가 경과한 후의 상당 소성 변형률속도의 분포를 Fig. 10에서, z 방향 속도 성분 분포를 Fig. 11에서 각각 보여주고 있다. 소재가 접합실을 대부분 채우고 선단의 일부는 범퍼 형상으로 압출되기 시작하는 것을 볼 수 있다.

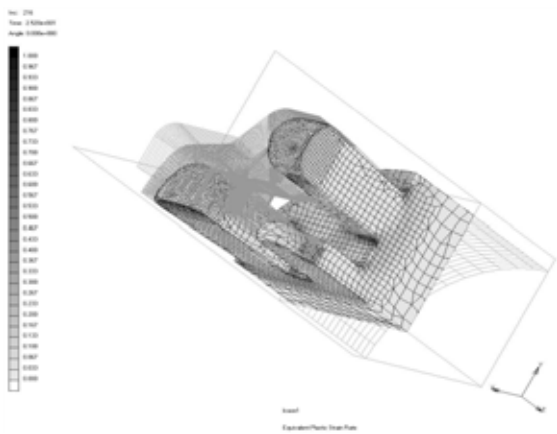


Fig. 8 Distribution of the equivalent plastic strain rate after 25.20 sec

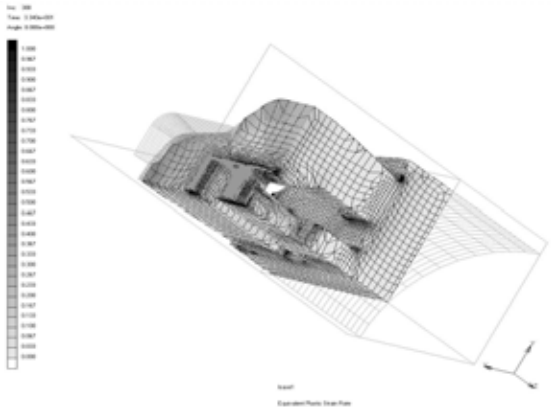


Fig. 10 Distribution of the equivalent plastic strain rate after 33.41 sec

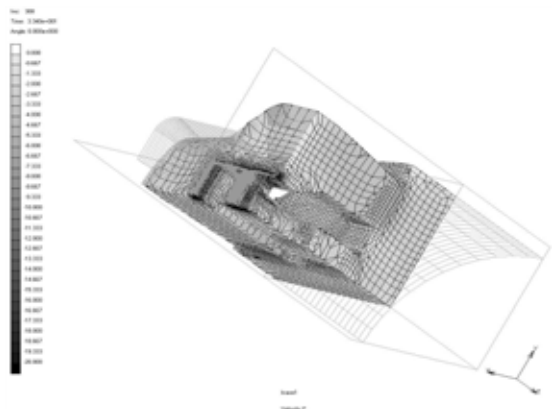


Fig. 11 Distribution of the velocity component in the z direction after 33.41 sec

Fig. 12는 Fig. 11에 보인 모습을 각각의 대칭면에 대하여 복사하여 전체를 나타낸 모습이고 Fig. 13은 다시 선단 부분만 확대한 모습이다. 선단 부분에서는 별다른 문제없이 범퍼 형상으로 압출되기 시작하고 여러 부분으로 나뉘었던 소재가 서로 접촉하기 시작하는 것을 볼 수 있다. 이 때의 요소 수는 약 18,000 개 정도였다.

해석에 사용된 컴퓨터의 하드웨어와 운영체제인 윈도우 환경에서는 32비트로 메모리 주소를 표기하므로 이론적으로는 최대 4G 바이트까지의 메인 메모리를 지원할 수 있는 것으로 되어 있었으나 실제로는

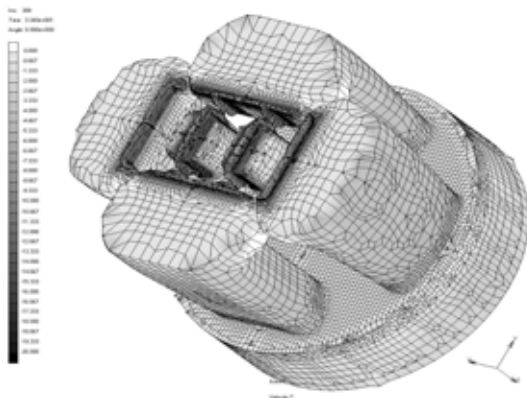


Fig. 12 Symmetrically copied view of the extruded bumper

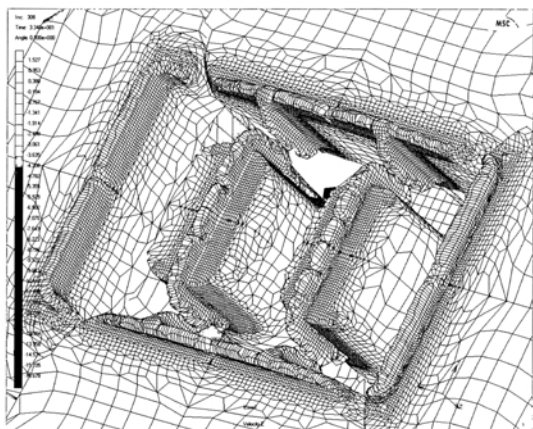


Fig. 13 Enlarged view of the front edge of the extruded bumper

해석 소프트웨어에서 사용 가능한 메모리 크기가 최대 약 2G 바이트 정도로 제한되는 관계로 요소 수가 더욱 증가되는 이 후의 단계에서는 격자 재구성을 할 수 없어서 해석을 더 이상 진행할 수 없었다. 최근에 64비트로 메모리를 표기하는 방식의 하드웨어와 운영체제가 개발되었으므로 하드웨어와 운영체제를 보완하는 즉시 이를 이용한 추가 해석을 시도할 예정이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 알루미늄 압출 범퍼의 개발에 적용하기 위하여 범용 유한요소해석 소프트웨어를 이용한 포트홀 금형 압출 공정의 해석을 수행하였다. 소재가 접합실을 대부분 채우고 선단의 일부가 범퍼 형상으로 압출되기 시작할 때까지 해석이 가능하였다. 추후 과제로는 해석용 컴퓨터 및 소프트웨어를 보완하여 추가적인 해석을 수행하여 알루미늄 범퍼를 위한 포트홀 압출 공정의 최적화에 적용하는 것이 있다.

#### 참고문헌

1. Lee, J. M., Kim, B. M., Jo, H. and Jo, H. H., "The Effect of Porthole Shape on Elastic Deformation of Die and Process at Condenser Tube Extrusion," Proc. of the KSTP Spring Conference 2003, pp. 315-318, 2003.
2. Jo, H. H., Lee, S. G., Park, J. N. and Kim, B. M., "Unsteady State Analysis of Al Tube Hot Extrusion by a Porthole Die," Transactions of Materials Processing, Vol. 10, No. 4, pp. 311-318, 2001.
3. Han, C. H. and Lim, H. J., "A Theoretical and Experimental Study on the Plastic Flow in Porthole Extrusion," Transactions of Materials Processing, Vol. 10, No. 6, pp. 485-492, 2001.
4. Park, K., Lee, Y. K., Yang, D. Y. and Lee, D. H., "Three-Dimensional Finite Element Analysis for Hollow Section Extrusion of the Underframe of a Railroad Vehicle using Mismatching Refinement with

- Domain Decomposition,” Transactions of Materials Processing, Vol. 9, No. 4, pp. 362-371, 2000.
5. Lee, J. M., Kim, B. M., Jung, Y. D., Jo, H. and Jo, H. H., “Die Stress and Process Analysis for Condenser Tube Extrusion according to Chamber Height,” Transactions of Materials Processing, Vol. 12, No. 3, pp. 214-220, 2002.
  6. Zhang, X. Q., Lam, Y. C. and Devadas, C., “Progress in Numerical Simulation of Extrusion of Aluminum Sections,” Proc. of the 4th Int. Conf. on Tech. of Plasticity, pp. 16-21, 1993.
  7. Mooi, H. G. and Huetink, J., “Simulation of Complex Aluminum Extrusion using an Arbitrary Eulerian Lagrange Formulation,” Proc. of the 5th Int. Conf. Num. Meth. Indust. Forming Processes, pp. 869-874, 1995.