

립(Lip) 금형을 이용한 원형 빌렛 직경
이상의 판재 압출에 대한 연구

한국과학기술원

김경진, 이창희, 양동렬

립(Lip) 금형을 이용한 원형 빌렛 직경 이상의 판재 압출에 대한 연구

김경진* · 이창희* · 양동열*

Investigation into Extrusion of Plate Wider than the Diameter of the Round Billet Using Lip Die

K.J. Kim, C.H. Lee, and D.Y. Yang

Abstract

In the extrusion process, the working material is forced to flow through a die with the desired profile. In general, the width of an extruded section is limited to about an inch less than the diameter of the round billet. But through the lip die, material is spreaded to produce a wider extruded section than the diameter of round billet. In this study, the extrusion process of an aluminum plate using the lip die is investigated. The width of the extruded plate is 450mm that is formed from the round billet with a diameter of 250mm. The flow characteristic through the lip die is considered to produce the wide-extruded plate with a small billet.

Key Words : Extrusion, Lip Die, Plate

1. 서 론

압출 공정에서 빌렛은 원하는 형상의 구멍이 뚫려진 금형으로 밀려나오며 제품으로 생산된다. 과거에는 간단한 형상을 가진 단면의 생산에 주로 사용되었지만, 최근에는 얇은 벽을 가진 단면이나 중공을 가진 형상의 생산에도 이용되고 있다. 압출 금형으로는 주로 평금형이 사용되지만, 중공형 단면을 압출하기 위해서는 접합실(welding chamber)을 가진 포트홀 금형(porthole die)이나, 브릿지 금형(bridge die) 등이 사용되기도 한다⁽¹⁾. 복잡한 형상을 압출하는 경우 금속의 유동을 균일하게 해

주기 위해 피더 플레이트 금형(feeder plate die)같은 공동(cavity)을 금형앞에 설치하기도 한다.⁽²⁾ 그리고, 사용되는 원형 빌렛의 직경보다 큰 제품을 생산하기 위해서는 립 금형(Lip die)을 사용된다. 압출되는 단면의 폭은 일반적으로 사용되는 빌렛의 직경보다 1인치 정도 작게 되도록 제한된다. 하지만, 넓고 얇은 제품에 대한 수요가 늘어나면서 폭의 제한을 극복해야 할 필요가 생겨났다. 이에 립(Lip) 금형의 발달이 유도되었다. 립 금형도 피더 플레이트 금형과 유사하게 장치나 공정의 변화없이 단지 평금형의 바로 앞부분에 설치하여 빌렛의 직경보다 큰 제품을 압출을 가능하게 해준다. 하지만, 립 금형은 높은

* 한국과학기술원 기계공학과

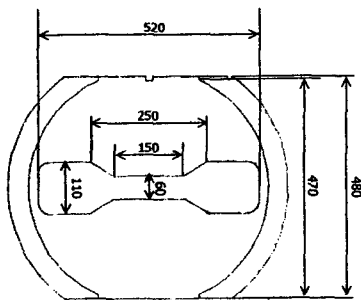
응력 집중으로 인해 금형의 수명이 짧고, 압출 프레스의 성능이 저하된다는 단점이 있다⁽³⁾. 립 금형을 이용한 압출 공정의 경우, 단면이 폭이 점점 감소하는 일반적인 압출 공정의 금속의 유동과는 다른 특징을 갖게 될 것이라고 예상된다. 따라서 본 논문에서는 Park⁽⁴⁾이 제안한 정상 상태에서의 강소성 유한요소 수식화를 이용한 압출 해석 시스템을 이용하여 직경 250 mm의 빌렛으로 립 금형을 이용하여 450 mm의 폭을 가지는 평판 압출 공정에서의 금속 유동의 특징을 관찰하도록 한다.

2. 립금형을 이용한 평판 압출공정

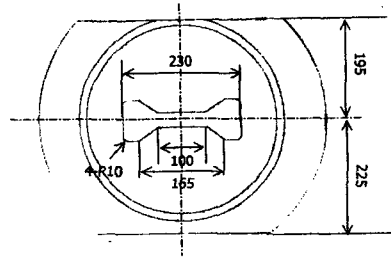
2.1 공정 개요

본 연구에서는 다음의 Fig. 1에서와 같은 립 금형을 이용한 평판 압출 공정에 대해 고찰해보기로 한다. 본 금형도를 통해서도 알 수 있듯이, 평판 압출 공정은 초기의 지름 250mm의 빌렛에서부터 폭 450mm의 평판을 성형하기 위해, 립금형을 이용하여 재료를 넓게 재분포시키는 과정이 필요하게 된다. 이러한 공정의 경우, 금형 설계 시 립부위에서 재료가 넓게 재분포되는 정도를 조정하여, 최종 압출 제품에 대한 압출 성능을 향상시킬 필요가 있다. 현재 금형을 통한 제품의 생산에서도 재료를 과도하게 넓게 분포시켜주어 최종 제품의 압출 시, 변형 저항이 커지게 되므로 이에 따른 금형 손상이 관찰된 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 정상상태 강소성 유한요소 해석을 통해 공정의 특성을 파악하고, 이에 대해 공정 최적화의 개념을 도입하여 립금형 설계를 개선할 수 있도록 한다. 이러한 사항을 고려하여 금형을 설계해야만 금형의 파손을 최소화시킬 수 있을 뿐 아니라, 제품의 성능을 향상시켜 원하는 특성을 지니는 제품을 효과적으로 생산할 수 있게 된다.



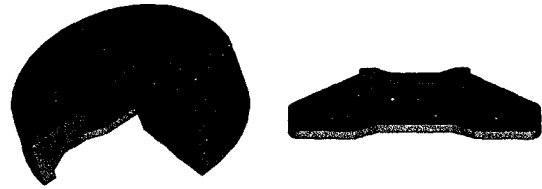
(a) inlet to the LIP-die



(b) outlet from the LIP-die

Fig. 1 Plate extrusion using Lip-die

다음의 Fig. 2는 주어진 금형에 의한 평판 압출을 3차원 모델링을 통해 나타낸 그림이다. 본 그림에서도 알 수 있듯이 재료는 립금형부를 통과하며 그 단면적이 급격하게 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 압출 단면의 단면적 증가는 결과적으로 최종 압출구에서의 압출비 증가로 나타나게 되며, 이는 변형 저항에 의한 성형하중의 증가로 인해 금형의 파손을 가져오는 중요한 원인이 될 수 있음을 예상할 수 있다.



(a) die shape

(b) material in the LIP-die

Fig. 2 Solid modeling of deformed material through the plate extrusion process

이러한 문제점의 해결을 위해, 립 금형을 통한 평판 압출을 강소성 유한요소법을 이용하여 해석함으로써 그 변형 특성을 파악하고, 현재 주어진 공정의 문제점에 대해 고찰한다.

2.2 해석을 위한 준비

강소성 유한요소법을 이용한 정상상태에서의 압출해석을 위해서는 재료에 대한 육면체 요소구성이 필수적이다. 다음의 Fig. 3은 I-DEAS를 이용한 격자구성 결과이며, 요소는 6888개이다.

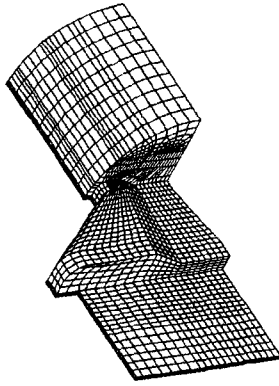


Fig. 3 Constructed mesh using I-Deas mapped meshing

본 연구에서 평판 압출에 사용된 재료는 알루미늄 1100(AI-1100)이며, 압출 온도는 500°C로 설정하였다. 이는 실제 공정에서 사용되는 조건이며, 이러한 경우 재료의 구성방정식은 다음의 식 (1)에서와 같다.

$$\bar{\sigma} = 14.49 \varepsilon^{0.2240} \quad (1)$$

본 연구에서는 유한요소 해석을 통해 변형 속도를 이용하여 변형 특성을 파악하고, 변형되는 구간에서 관찰되는 재료의 평균응력을 이용하여 변형 시에 금형에 가해지는 압력을 예측할 수 있도록 한다. 이를 이용하면 금형 및 재료에 가해지는 변형 불균일성을 관찰할 수 있고, 이를 해소하기 위해, 변형을 되도록 고르게 분포시켜 금형 파손이 줄어들 수 있도록 공정을 개선하는 방법을 제안할 수 있게 된다.

3. 평판 압출공정의 해석

3.1 압출 속도의 분포를 통한 변형 특성 고찰

정상상태 강소성 유한요소법을 이용한 해석은 dual CPU를 가지는 Pentium PC에서 약 6시간이 소요되었다. 다음의 Fig. 4는 유한요소 해석 결과로써 압출방향 속도의 분포를 나타낸다. 그림에서도 알 수 있듯이, 재료가 립금형을 통과하면서 압출 되는 부분의 단면적이 급격하게 증가함으로써 재료의 압출 속도가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 그리고, 이는 결과적으로 최종 압출품에서의 극심한 속도 불균일 및 제품의 중심부로부터 멀어지는 방향의 끝단부에서 '0'에 가까운 매우 낮은 압출 속도가 예측됨을 확인할 수 있었다.

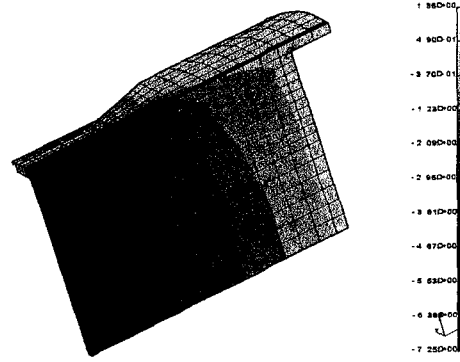


Fig. 4 Result of FE-analysis: Distribution of extrusion velocity

이를 좀 더 효과적으로 관찰하기 위해 압출되는 제품의 폭방향을 따라, 두께의 중간위치를 기준으로 특성 라인을 설정하여 그 특성 라인을 따르는 속도의 분포를 비교하였다. Fig. 5는 최종 압출부 단면에서의 압출속도 분포를 나타내고, Fig. 6은 설정된 특성라인을 따르는 압출 속도의 분포를 나타낸 것이다. 이를 통해 립금형에서의 재료 넓힘을 통해 속도가 급격하게 줄어들게 되면서, 제품의 성형을 위한 변형이 끝단부로 갈수록 매우 어려워짐을 확인할 수 있다.

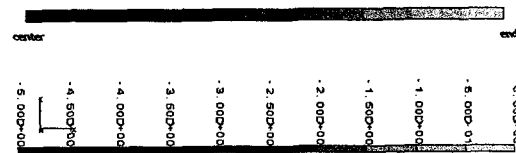


Fig. 5 Distribution of extrusion velocity at the extruded plate

그리고, 재료가 공정 중에 압출방향으로의 단면적이 넓어지게 되면 압출 펀치로부터 전해지는 하중이 컨테이너 내부에서 제대로 전달되기 어렵고, 이에 의해 최종 압출품에서의 중앙부로부터 멀어지는 부분에 대해서는 성형이 어려워지는 문제를 예측할 수 있다. 실제로 해석 결과를 쉽게 도시한 Fig. 6에서의 압출속도 분포를 통해서, 끝단부에서 거의 압출이 이루어지지 않음을 쉽게 관찰할 수 있다. 따라서, 이를 좀더 균일화 할 수 있는 방법에 대해 고찰해야 한다.

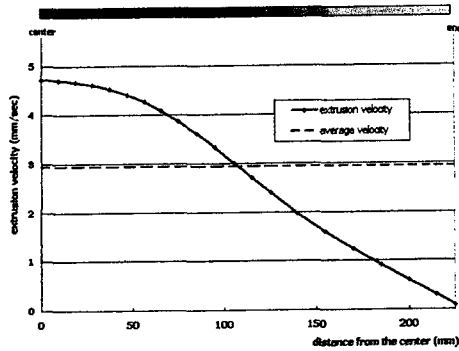


Fig. 6 Non-uniform distribution of extrusion velocity along the characteristic line of the extruded plate

3.2 평균응력의 분포를 통한 변형 특성 고찰

이상에서는 압출 속도의 분포를 통해 공정의 특성을 고찰하여 보았으며, 이를 통해 최종 제품에서의 변형 불균일에 대해 관찰할 수 있었다. 지금부터는 이를 실제적인 금형 파손의 원인에 대해 고찰하기 위해, 재료에 가해지는 평균 응력의 분포를 살펴볼 수 있도록 한다. 다음의 Fig. 7은 평판 압출 공정에서 관찰되는 평균응력의 분포를 나타내며, 이는 실제로 금형에 가해지는 압력으로 고려할 수 있는 값이다.



Fig. 7 Distribution of pressure at the extruded plate

이를 통해서도 볼 수 있듯이, 초기 빌렛부에 대해서는 펀치에 의해 가해지는 압력을 가지고 있음을 확인할 수 있으나, 립금형에 의해 재료가 재분배된 이후로는 변형에 필요로 하는 압력이 재료에 전달되지 않음을 알 수

있다. 이렇게 되면, 재료는 최종 압출부로 압출되기 위한 하중을 받지 못함을 예상할 수 있다. 또한, 이러한 어려움이 존재하는 경우, 압출을 계속 진행시키면 금형에 과도한 하중이 가해지므로 금형이 파손될 수 있다.

이상의 결과를 통해 재료에 가해지는 평균 압력의 분포가 최종 압출구 부근에서 급격하게 증가함을 알 수 있으며, 이는 공정 중 립금형을 통해 압출 단면적을 넓히는 과정에서 압출비가 과도하게 증가하기 때문에 발생한 문제라고 볼 수 있다. 따라서, 이를 개선하기 위해서는 압출 단면적이 넓어지는 정도를 조정할 필요가 있음을 확인할 수 있고, 이는 금형 수정의 필요성을 뜻하게 된다. 금형의 개선을 고려할 때에는, 재료가 립금형을 통해 넓어지는 정도를 폭방향으로는 고정하고 두께방향으로는 줄어듬으로써, 전체적으로는 최종 압출시의 압출비를 작게 할 수 있도록 하며, 이를 통해 변형의 균일화를 취할 수 있도록 해야 함을 알 수 있다.

4. 결론

이상의 연구를 통해 립금형을 이용하여 작은 빌렛을 이용한 평판을 압출할 때, 립금형의 설계가 매우 중요함을 확인할 수 있었다. 이는 재료의 충분한 유동이 이루어질 수 있고, 성형 가능 범위내에서 압출비를 최소화하며 압출 펀치의 성형 하중이 최종 성형부까지 효과적으로 전달될 수 있도록 설계를 수정해야 함을 알 수 있었다. 앞으로의 연구에서는 이를 좀 더 고찰하여, 최적화된 금형을 얻을 수 있도록 해야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- (1) Laue, K. and Stenger, H., 1981, "Extrusion : Processes, Machinery, Tooling", American Society for Metals, Metals Park, OH.
- (2) Mehta, B. V., Al-Zkeri, I., Gunasekera, J. S. and Buijk, A., 2001, "3D flow analysis inside shear and streamlined extrusion dies for feeder plate design", J. of Mater. Process. Tech., Vol. 113, pp. 93-97.
- (3) 1977, "Aluminum Extrusion Process," Kaiser Aluminum & Chemical Sales, Inc.
- (4) Park, K., and Yang, D. Y., 2000 "Mismatching refinement with domain decomposition for the analysis of steady-state metal forming", Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol. 48, pp. 1089-1106.