

립(Lip)금형을 이용한 원형 빌렛 직경 이상의 판재압출에서 립금형 형상의 최적화

김경진* · 이석렬* · 양동열*

Optimization of the Shape of Lip Die in the Extrusion of Plate Wider than the Diameter of the Round Billet using a Lip Die

K.J. Kim, S.R. 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 using rigid plastic FE analysis. Based on the result of FE analysis, an optimized design of the lip die is then proposed.

Key Words : Extrusion, Lip Die, Plate, Rigid Plastic FEM

1. 서론

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 해주기 위해 피더 플레이트 금형(feeder plate die)같은 공동(cavity)을 금형 앞에 설치하기도 한다(2) 피더 플레이트의 역할은 처음에는 연속 압

출에서의 빌렛끼리의 압접을 위해 사용되었지만, 최근에는 압출되는 제품의 속도 균일화를 위해 많이 사용된다(3) 그리고, 사용되는 원형 빌렛의 직경보다 큰 제품을 생산하기 위해서는 립금형(Lip die)이 사용된다. 압출되는 단면의 폭은 일반적으로 사용되는 빌렛의 직경보다 1 인치 정도 작게 되도록 제한되지만, 넓고 얇은 제품에 대한 수요가 늘어나면서 폭의 제한을 극복해야 할 필요가 생겨났다. 이에 립(Lip) 금형의 발달이 유도되었다. 립금형도 피더 플레이트 금형과 유사하게 장치나 공정의 변화 없이 단지 평금형의 바로 앞 부분에 설치하여 빌렛의 직경보다 큰 제품을 압출을 가능하게 해준다.

하지만, 립금형은 높은 응력 집중으로 인해 금형의 수명이 짧고, 압출 프레스의 성능이 저하되고

* 한국과학기술원 기계공학과

압출되는 제품의 단면 내에서의 속도차이가 크다는 단점이 있다(4). 립금형을 이용한 압출 공정에서, 단면이 폭이 점점 감소하는 일반적인 압출 공정의 금속의 유동과는 다른 특징을 갖게 될 것이라고 예상된다. 따라서 본 논문에서는 정상 상태에서의 강소성 유한요소 수식화를 이용한 압출 해석 시스템을 이용하여 립금형을 통해 직경 250 mm의 빌렛에서 450 mm의 폭을 가지는 평판 압출 공정에서의 금속 유동의 특징을 관찰하여 현재 사용되고 있는 금형에서의 문제점을 파악하고, 새로운 금형의 설계를 제안한다

2. 립금형을 이용한 평판 압출공정

2.1 공정개요

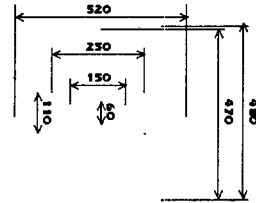
본 연구에서는 Fig. 1에서와 같은 립 금형을 이용한 평판 압출 공정에서의 금속 유동에 대해 고찰하여 문제점을 파악하고, 유동 특징을 향상시킬 수 있도록 금형을 수정하도록 한다. 본 금형도를 통해서도 알 수 있듯이, 평판 압출 공정은 초기의 지름 250mm의 빌렛에서부터 폭 450mm, 두께 10.5mm의 평판을 성형하기 위해, 립 금형을 이용하여 재료를 넓게 재분포 시키는 과정이 필요하게 된다. 이러한 공정의 경우, 금형 설계시 립 금형내부에서 재료가 넓게 재분포되는 정도를 조정하여, 최종 압출 제품에 대한 압출 성능을 향상시킬 필요가 있다. 현재 금형을 통한 제품의 생산에서는 재료를 과도하게 넓게 분포시켜 최종 제품의 압출 시, 변형 저항이 커지게 되므로 이에 따른 금형 손상이 관찰된 바 있다. 따라서 정상상태 강소성 유한요소 해석을 통해 공정에서의 금속 유동 특성을 파악하고, 이에 대한 금형의 영향을 고찰한다. 이러한 사항을 고려하여 금형을 설계해야만 금형의 파손을 최소화시킬 수 있을 뿐 아니라, 제품의 성능을 향상시켜 원하는 특성을 지니는 제품을 효과적으로 생산할 수 있게 된다.

3. 평판 압출 공정의 해석

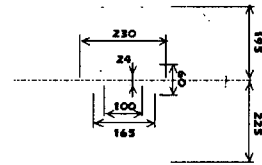
3.1 현재의 립금형을 이용한 압출공정 해석

Fig. 2은 강소성 유한요소법을 이용한 정상 상태에서의 압출해석을 위한 격자구성 결과이다.

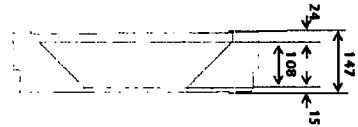
격자는 10 절점 사면체 요소이며 절점 개수는 8482 개 요소 개수는 4265 개이다.



(a) Bottom view of conventional LIP-die



(b) Top view of conventional LIP-die



(c) Side view of conventional LIP-die

Fig 1. Dimensional value of the conventional Lip-die

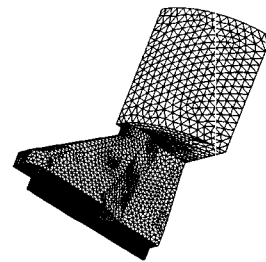


Fig 2. Mesh construction

여기에서 평판 압출에 사용된 재료는 알루미늄 1100(Al-1100)이며, 압출 온도는 450°C로 설정하였다. 이는 실제 공정에서 사용되는 조건이며, 이러한 경우 재료의 구성방정식은 다음의 식 (1)에서와 같다.

$$\bar{\sigma} = 4.3\bar{\epsilon}^{0.130} \text{ (ksi)} \quad (1)$$

다음의 Fig. 3은 유한요소 해석 결과로써 압출 방향 속도의 분포를 나타낸다. 그림에서도 알 수 있듯이, 재료가 립금형을 통과하면서 압출되는 부분의 단면적이 급격하게 증가하면서, 압출 편차

로부터 전해지는 성형 하중이 립금형 내부의 재료에 제대로 전달되지 않음을 확인할 수 있다. 이에 의해 최종 압출품에서 중앙부로부터 멀어져 끝부분으로 갈수록 성형이 매우 어려워지는 것을 알 수 있다.

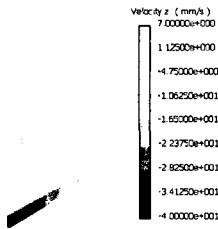


Fig 3. Distribution of extrusion velocity

이는 결과적으로 최종 압출품에서의 극심한 속도 불균일을 유발하게 된다. 현재의 립금형을 이용한 평판 압출의 경우 중심부에서의 압출 속도가 약 37.96mm/s 인데 비해 끝부분에서의 압출 속도는 약 11.12mm/s 로 3 배 이상의 속도차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

3.2 수정된 립 금형을 이용한 압출 공정 해석

앞 절에서의 결과에서 현재 립 금형을 이용한 평판 압출공정에서 압출되는 제품에 큰 속도 편차가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서, 이를 개선하기 위해서 압출 단면적이 넓어지는 정도를 조정하고 가장자리 부분으로 충분한 재료를 공급할 수 있도록 Fig. 4, 5 와 같은 새로운 립 금형을 제안한다.

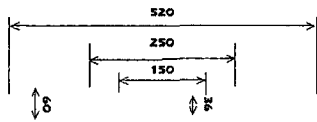


Fig 4. Bottom view of proposed LIP-die

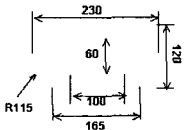


Fig 5. Top view of proposed LIP-die

측면의 치수는 기존의 립금형과 동일하게 한다. 립금형을 통해 압출되는 제품의 가장자리 부분으로 보다 많은 재료를 공급할 수 있도록 기존의 금형보다 입구쪽 형상의 폭을 두껍게 한다. 기존

금형의 경우, 입구쪽 형상의 단면적이 8944mm² 였지만 새로운 금형의 경우 각각 18340 mm² 로 약 2 배 증가시킨다.

그리고 출구방향 형상의 경우에는 얇은 평판으로 압출될 때의 과도한 압출비를 줄이기 위해 기존 립금형의 출구방향 형상의 면적을 46663mm² 에서 25683 mm² 로 감소시킨다.

Fig. 6 은 종래의 립금형과 새로 제안된 립금형을 이용한 경우의 해석결과를 비교한 것이다.

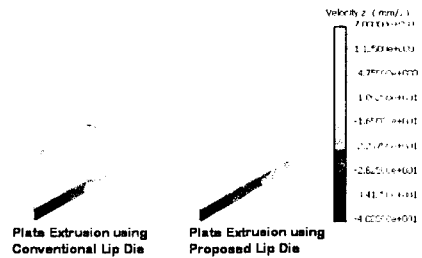


Fig 6. Distributions of extrusion velocity in both cases

이를 좀 더 효과적으로 관찰하기 위해 압출되는 제품의 폭방향을 따라, 두께의 중간위치를 기준으로 특성 라인을 설정하여 그 특성 라인을 따르는 속도의 분포를 비교하였다. Fig. 7 은 설정된 특성라인을 따라서의 압출 속도 분포를 보여준다.

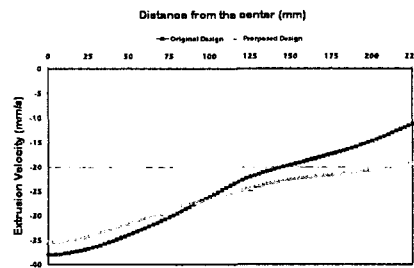


Fig 7. Distribution of extrusion velocity along the characteristic line

가운데 부분의 속도는 기존의 금형을 사용했을 때의 37.96mm/s 에 비해 각각 35.44mm/s 로 감소하였지만, 끝부분의 속도는 11.12mm/s 에서 19.19mm/s 로 2 배 가량 증가하였다. 기존 금형에서는 압출된 평판에서 가장 속도가 느린 끝부분에서의 속도가 가장 속도가 빠른 중간부분에서의 속도의 29%정도에 불과했으나, 새로운 금형의 경우에는 각각 54%로 압출되는 제품의 속도가 크게 균일화 되었음을 알 수 있다.

4. 립금형 형상의 최적화

앞에서 새로 제안된 립금형이 종래 사용되던 립금형에 비해 제품의 압출속도 분포의 균일성을 향상시킨다는 것을 확인하였다. 하지만 제안된 금형을 이용하여 압출된 평판의 속도분포에서도 아직도 최고속도와 최저속도의 차이가 2 배 이상의 차이를 보이고 있다.

따라서 최종 압출되는 평판에서의 압출속도 균일화를 위해 최적화 개념을 도입하여 립금형의 입구부 형상과 출구부 형상을 설계하도록 한다.

여기서는 LeeE[5]에 의해 제안된 최적화 알고리즘을 이용한다.

본 연구에서는 목적함수가 최종 압출 판재의 출구속도의 편차를 최소화 시키는 것이므로 다음과 같이 목적함수를 정의한다.

$$\min F = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{v_i - \bar{v}}{\bar{v}} \right)^2}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2)$$

최적화 과정은 먼저, 새로 제안된 금형에서 시작하여, 출구부의 형상을 먼저 최적화 한 후, 그에 따라 입구부의 형상을 최종적으로 최적화한다.

립금형의 출구부형상의 특징을 정의하기 위해 아래와 같이 설계변수를 정의한다. 실제 적용이 용이하도록 기본적으로 종래 사용되던 립금형의

형상을 유지하고 Fig. 8에서와 같이 x_1, y_1, x_2, y_2 로서 립금형의 형상 특징을 제어하도록 한다.

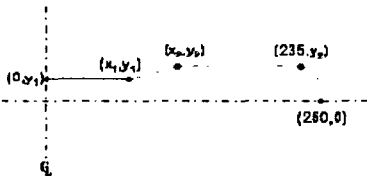


Fig 8. Design variables of the bottom shape of Lip die

이때 최종 압출 판재의 두께가 10.5mm 이므로 압출 직전의 전단 변형을 가해주기 위해 y_1 은 10 이상의 값을 갖도록 한다.

Table 1. 에 설계 변수의 초기 값과 최적화된 값을 나타내고 있다.

Design Variables	Initial Value	Optimal Value
x_1	75	90.35
y_1	18	10
x_2	125	164.89
y_2	30	27.89

TABLE 1. Initial and Optimal Value of Design Variables of Bottom Shape

최적화된 립금형 출구쪽 형상에 대하여 입구쪽 형상을 최적화한다.

입구쪽 형상의 설계변수는 아래 Fig. 9 와 같이 x_1, y_1 두 개를 선택한다. 이는 초기 빌렛의 직경이 125mm 로 정해져 있어 바깥쪽 형상의 변화에 제한이 많기 때문이다.

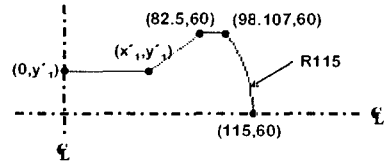


Fig 9. Design variables of the top shape of Lip die

이때 압출 제품의 품질을 보장하기 위해 y_1 은 12 보다 큰 값을 갖도록 한다.

Table 2. 에 설계 변수의 초기 값과 최적화된 값을 나타내고 있다

Design Variables	Initial Value	Optimal Value
x_1	50	28.4
y_1	18	12

TABLE 2. Initial and Optimal Value of Design Variables of Bottom Shape

기존 립금형과 수정된 립금형 그리고, 최적화된 립금형의 입구와 출구의 형상이 Fig. 10 에 나타나 있다.

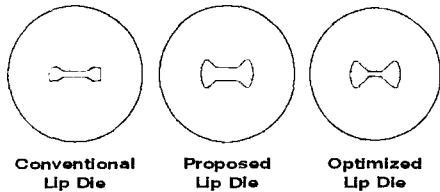


FIG 10. Comparison of top & bottom shape of each Lip die

최적화된 금형을 이용한 평판 압출공정의 강소성 유한요소 해석결과는 다음과 같다.

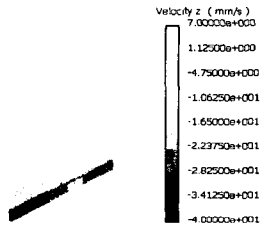


Fig 11. Distribution of extrusion velocity in the optimized lip die

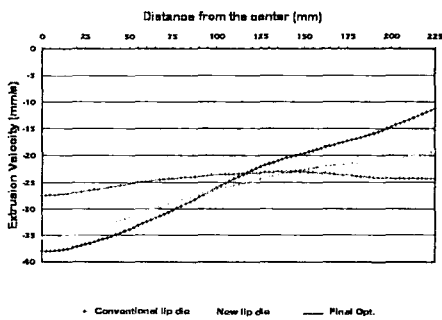


FIG 12. Comparison of distribution of extrusion velocity of each Lip die

Fig.12 에 세가지 금형에 대하여 Fig. 7 에서와 같은 특성라인을 따르는 압출 속도의 분포를 관찰하면 다음과 같다.

위의 그래프에서도 볼 수 있듯이 최적화된 립 금형을 이용한 평판 압출 공정에서의 출구 속도의 균일성이 크게 향상되었음을 확인할 수 있다.

5.결론

립 금형을 이용하여 빌렛 직경보다 큰 평판을 압출할 때, 유동의 복잡성 때문에 립 금형의 설계가 매우 중요하다. 이 연구에서는 강소성 유한요소 해석을 통해 기존의 립 금형을 이용한 평판 압출공정의 압출품에서 심각한 속도 불균일이 발생하고 있다는 것을 확인하였다. 이를 방지할 수 있도록 Lee 에 의해 제안된 최적화 기법을 이용하여 립 금형의 형상을 최적화하여 최종 압출되는 판재에서의 압출속도의 편차를 최소화 시킬 수 있었다. 종래의 립 금형을 이용한 판재압출에서의 출구속도 표준편차는 8.42 이었는데 반해 최적화된 립 금형을 이용한 판재압출에서의 출구속도 표준편차는 1.33 으로 압출속도의 불균일성을 크게 감소시켰다.

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) Q. Li, C.J. Smith, C. Harris, M.R. Jolly, 2003, "Finite element investigations upon the influence of pocket die designs on metal flow in aluminium extrusion : Part I. Effect of pocket angle and volume on metal flow", J. of Mater. Process. Tech., Vol. 135, pp. 189~196.
- (4) 1977, "Aluminum Extrusion Process," Kaiser Aluminum & Chemical Sales, Inc.
- (5) Lee, S. R., and Yang, D. Y., "Shape Optimization of Flow Guide in Three-dimensional Profile of an H-section Extrusion" in the 8th international Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes-2004.