

직사각재 인발 공정의 중간 금형 설계 프로그램 개발

김용철*, 김동진(부산대 원), 김병민(부산대 정밀정형 및 금형가공 연구센터)

Development of Program for the Intermediate Die Design in the Drawing of the Rectangular Rod

Y. C. Kim*, D. J. Kim(Graduate School, PNU), B. M. Kim(ERC for NSDM)

Abstract

In this study, a method to find the optimal intermediate die geometry for the multi-stage drawing process for the rectangular rod from a round bar is proposed and a program using the proposed method is developed. On the stage of the design of the intermediate die geometry, the virtual die was constructed using the initial billet as a inlet of the drawing die and the final product as a exit of that and the virtual die was divided by the number of pass. Divided die was transformed into the rectangular one which is the intermediate die geometry for the multi-stage rectangular drawing process. In order to verify the application of the proposed method on the real industrial product, the drawing of the rectangular rod from a round which composed two stage has been performed and simulated by the three dimensional rigid plastic finite element method.

Keywords : Cold Drawing Process(냉간 인발 공정), Drawing of the Rectangular Rod(직사각재 인발), Intermediate Die Design(중간 금형 설계), Finite Element Analysis(유한요소 해석)

1. 서론

정밀한 치수와 뛰어난 표면 정도를 가진 고품질 제품에 대한 수요의 증가에 대해, 인발 공정은 표면정도 향상 및 뛰어난 치수정도 그리고 우수한 기계적 성질을 얻기 위한 가장 효과적이고 유연한 성형 방법 중의 하나이다.

최근, 정사각형, 직사각형, 타원형 등의 비정사각형 단면을 가진 제품들이 전기제품에 쓰이는 연결핀, 변압기의 평케이블 등에 많이 사용되고 있다. 와이어 인발과는 달리 이형재 인발 공정은 변형 양상이 복잡하여 현장 기술자의 경험과 실험적인 기법에 의존하여 설계되어져 왔으며,

초기 소재로부터 최종 제품 생산을 위한 중간 금형 설계는 여전히 어려운 문제로 남아있다.

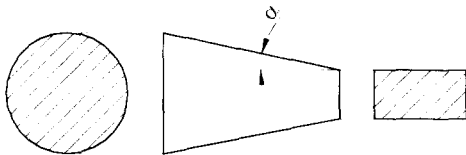
와이어 및 이형재 다단 인발 공정에 대한 많은 연구들이 수행되어져 왔다. Larraguibel 등[1]은 다단계 와이어 인발에 있어서 인발 응력에 대한 가공 경화의 영향에 대해 조사하였으며, Hwang 등[2]은 원형 제품 인발 및 압출에 대한 민감도 해석 및 유한요소 해석을 통하여 최적 패스 설계를 수행하였다. Brücker 등[3]은 원형 및 사각형 소재로부터 이형형상을 가진 제품 생산을 위한 다단계 인발에 관한 CAD시스템을 개발하였다. 또한 Kartik 등 [4]은 직사각형 증공관 인발에 대한 유틸리티 프로그램을 개발하여 2단계 증공관 인발에 적용하였다.

본 연구에서는 원형봉에서 직사각재 인발 공정에 대하여 중간 금형 설계 방법을 제안하고, 제안된 방법으로 중간 금형 자동 설계 프로그램을 개발하였으며, 제안된 중간 금형 설계 방법을 실제 생산되어지고 있는 직사각재 인발 제품에 적용하였으며, 설계의 타당성을 검증하기 위하여 기존 패스 및 재설계된 패스에 대하여 유한요소 해석을 수행하였다.

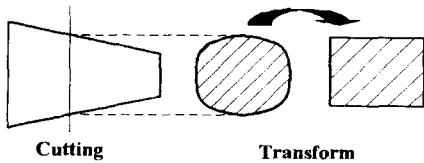
2. 이론적 배경

2.1 중간 금형 설계

본 연구에서 제안한 원형봉에서 직사각재 인발 공정에 대한 중간 금형 설계 방법을 Fig. 1에 나타내었다.



(a) Virtual die by connecting the inlet and exit geometry



(b) Cut and the transformed the arbitrary cross-section into the rectangular one

Fig. 1 Virtual die and transformed die

우선 Fig. 1(a)와 같이 원형 초기 소재와 최종 제품의 형상을 이어주는 가상 금형을 구성한다. 이때 가상 금형의 다이 반각 α 는 원형 초기 소재를 금형의 입구형상으로 최종 제품을 금형의 출구형상으로 하였을 때, 최적의 다이 반각으로 설정하였으며, 제품과 소재는 선형 원추형 금형으로 가정하여 구성하였다. 다음 Fig. 1(b)와 같이 가상 금형의 임의의 위치에서 단면을 절단한다. 이때 절단하는 수는 패스 스케줄에서 패스 수에 해당된다. 일반적으로 직사각재 인발 공정 시

중간 금형의 형상은 제조 및 생산비용을 고려하여 이후 단계의 직사각형 형상보다 크기나 같은 코너 곡률을 가진 직사각형 형상으로 하고 있다. 본 연구에서는 절단 후 얻어진 단면형상으로부터 직사각형 중간 금형 형상을 얻기 위하여, 절단된 단면형상을 면적이 동일하고 가로 세로비가 동일한 직사각형 단면 형상으로 변환하였다. 이 때 변환되어진 직사각형 형상을 중간 금형의 출구형상으로 설정한다.

2.2 유한요소 해석

설계된 중간 금형 형상에 대해 설계의 타당성을 검토하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였으며, 해석은 개발된 3차원 강소성 유한요소 해석 코드를 사용하였다.

3. 유한요소 모델링

유한요소 해석에 사용된 재료는 AISI 1045 강이며, 응력-변형률 관계식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 953.37 \bar{\epsilon}^{0.14} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

본 연구에서는 직사각형 비가 1.5인 원형봉에서 직사각재 인발 공정에 대하여 조사하였다. 실제 현장에서 사용되어지고 있는 2단계 패스 스케줄에 대해 본 연구에서 제시된 중간 금형 설계 방법을 적용하여 새로운 2단계 패스를 설계하였다. 초기소재는 $\phi 4$ 의 원형봉을 사용하였으며, 최종 제품의 형상은 Fig. 2에 나타내었다. 마찰상수는 0.1로 고정하였다.

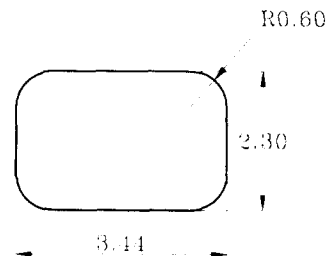
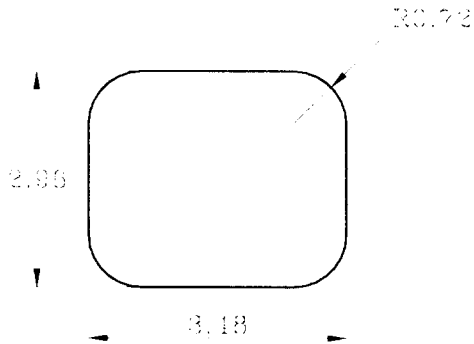


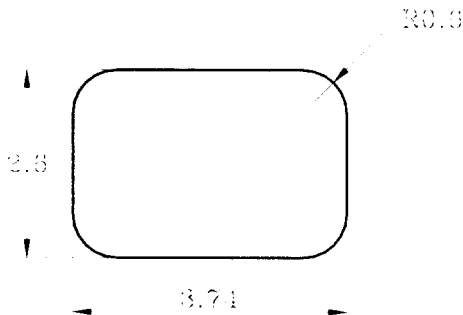
Fig. 2 Geometry and dimension of the final product(mm)

4. 결과 및 고찰

φ4의 원형봉으로부터 2단계의 금형을 사용하여 Fig. 2의 단면을 가진 제품을 인발하기 위하여 제시된 중간 금형 설계 방법을 이용하여 2단계 금형의 중간 금형을 설계하였으며, 설계된 중간 단면의 형상을 Fig. 3(a)에 나타내었다. 또한 제시된 중간 금형 형상과 비교를 위하여 실제 현장에서 경험적으로 설계되어 사용되고 있는 금형의 단면 형상을 Fig. 3(b)에 나타내었다.



(a) Intermediate die from the present study



(b) Intermediate die from the industry

Fig. 3 Intermediate cross-section of the die

두 가지 중간 금형을 이용하여 각각의 패스 스케줄에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 모든 해석은 재료가 금형을 빠져 나온 후 유효변형률 분포가 균일한 상태, 즉 정상상태에 도달할 때까지 충분히 수행하였다. 해석 결과를 정리하여 Table 1에 나타내었다.

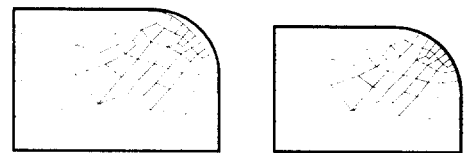
Table 1에서 알 수 있듯이, 경험적으로 설계된 금형을 사용한 경우 패스 1과 패스 2의 하중이

Table 1 Results of the simulation

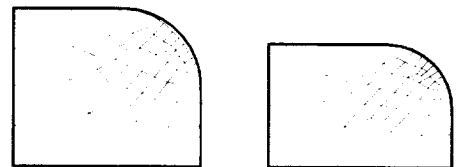
	Real industry		Present study	
	Pass 1	Pass 2	Pass 1	Pass 2
Semi-die angle (°)	α_1-8° α_2-15°	α_1-8° α_2-15°	α_1-15° α_2-15°	α_1-7° α_2-7°
Reduction in area (%)	25.07	19.25	21.60	22.90
Drawing load (N)	3510.78	2333.48	3050.84	2853.61
Drawing Stress (MPa)	380.05	311.10	312.23	376.82
Area at exit (mm ²)	9.2376 (9.4150)	7.5581 (7.6030)	9.7712 (9.8558)	7.5728 (7.6030)
%error of area at exit	1.88	0.60	0.86	0.40

균일하지 않음을 알 수 있으며, 패스 1의 하중이 과도하게 걸린다는 것을 알 수 있다. 하지만 본 연구에서 제시된 중간 금형 설계 방법을 이용한 경우 패스 1과 패스 2의 하중이 약간 차이가 있지만 거의 균일함을 알 수 있다.

또한 이형재 인발의 경우 최종 제품의 치수가 중요하기 때문에 인발 도중 재료의 금형 내부로의 코너 채움이 중요한 문제가 된다. 따라서 두 가지 경우에 대해 각각 인발 후 정상 상태 도달 부위를 절단하여 그 단면의 코너 채움 정도를 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)에서 알 수 있듯이, 경험적으로 설계된 금형을 사용한 경우, 패스 1을 지난 소재가 금형을 다 채우지 못하는 것을 알 수 있다. 하지만 제시된 방법을 사용하여 설계된 금형의 경우 패스 1을 지난 소재가 약간의 미충만 영역이 있지만 금형을 잘 채운다는 것을 알 수 있다. 패스 2를 지난 소재는 경험적으로 설계된 금형과 제시된 방법을 이용하여 설계된 금형 모두 다 잘 채워졌음을 알 수 있다.



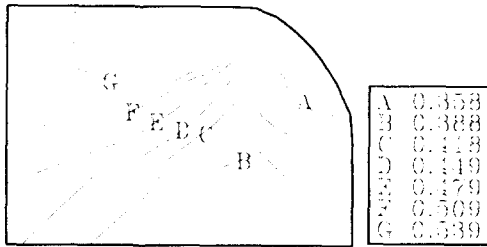
(a) In case of the industry



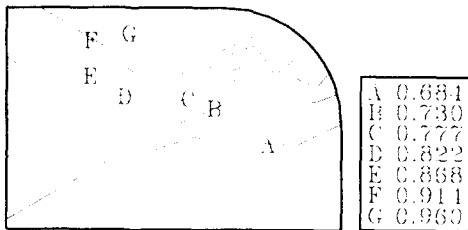
(b) In case of the present study

Fig. 4 Cross-section of the drawn products

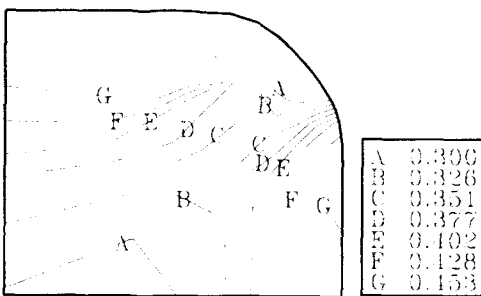
Fig. 5에는 인발된 소재의 단면에서의 유효변형을 분포를 나타내었다. 경험적으로 설계된 금형의 경우 긴 변의 표면과 짧은 변의 표면의 변형 정도가 상당한 차이를 보임을 알 수 있고, 따라서 제품이 균일한 강도를 내지 않으며, 반복 하중에 취약할 수 있다. 하지만 제시된 방법으로 설계된 금형이 경우, 제품의 긴 변과 짧은 변의 변형 정도가 균일함을 알 수 있다.



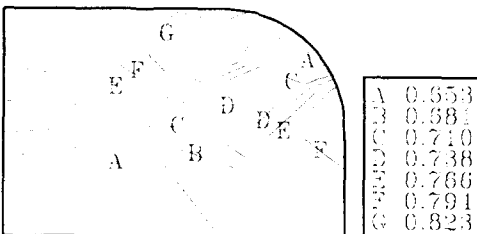
(a) 1st pass in case of the real industry



(b) 2nd pass in case of the real industry



(c) 1st pass in case of the present study



(d) 2nd pass in case of the present study

Fig. 5 Effective strain distribution

5. 결론

다단계 직사각재 인발 공정에 있어서 중간 금형 설계 방법을 제시하였으며 제시된 방법을 이용하여 중간 금형 자동 설계 프로그램을 개발하였다. 제시된 방법의 타당성을 검증하기 위하여 현재 경험적으로 설계된 금형에 대해 중간 금형을 재설계 하였다. 기존의 패스 스케줄과 새로이 설계된 패스 스케줄에 대해 유한요소 해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 경험적으로 설계된 금형을 사용하였을 때보다 본 연구에서 제시된 방법을 사용하여 중간 금형을 설계할 경우 균일한 하중을 얻을 수 있었다.
- (2) 제품의 단면 내의 변형 정도가 경험적으로 설계된 금형을 사용한 경우보다 균일함을 알 수 있다.

본 연구에서 제시된 중간 금형 설계 프로그램을 다단계 직사각재 인발 공정에 효과적으로 적용될 수 있을 것이라 예상된다.

6. 참고 문헌

- [1] J. S. Larraguibel, "Effect of Work Hardening on Drawing Stresses in Multi-Pass Wire Drawing", MS Report, Dept. of Mech. Engr., University of California, Berkeley, CA, June 1975.
- [2] M. S. Joun and S. M. Hwang, "Pass Schedule Optimal Design in Multi-Pass Extrusion and Drawing by Finite Element Method", Int. J. Mach. Tools manufact. Vol. 33, No. 5, pp. 713-724, 1993.
- [3] M. Brücker, D. Keller and J. Reissner, "Computer-Aided Drawing of Profiles from Round and Square Bar", Annals of the CIRP, Vol. 37, pp. 247-250, 1988.
- [4] K. Sawamiphakdi, G. D. Lahoti, J. S. Gunasekera, R. Kartik, "Development of utility programs for a cold drawing process", J. Materials Processing Technology, Vol. 80-81, pp. 392-397, 1998.