

크로스 롤러 가이드 이형인발공정 패스 스케줄 Pass Schedule of Shape Drawing Process for Cross Roller Guide

*이태규¹, 이찬주¹, 김성민¹, 이상곤², #김병민²

*T. K. Lee¹, C. J. Lee¹, S. M. Kim¹, S. K. Lee², #B. M. Kim² (bmkim@pusan.ac.kr)

¹ 부산대학교 대학원 정밀기계공학과, ² 부산대-IFAM 국제공동연구소, ³ 부산대학교 기계공학부

Key words : Multi-Pass Shape Drawing, Pass Schedule, Equal Reduction, Equal Load, Electric Field Analysis

1. 서론

인발가공은 일정한 단면을 가지면서 길이가 긴 제품을 생산하는 대표적인 소성가공 공정 중의 하나이다.¹ 축대칭 인발공정과 달리 복잡한 단면형상을 가진 이형인발공정에서는 단면감소율, 인발하중, 생산효율 등을 고려하여 일반적으로 3 패스 이내의 다단으로 행해진다. 이형인발공정에서는 단면형상이 복잡하기 때문에 적절한 중간형상과 패스별 단면감소율을 설정하는 것이 중요하다. 그러나 실제 현장에서는 반복적인 시행착오와 경험에 의해 설계가 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이형인발공정의 단면감소율 및 중간다이 단면형상 설정방법을 제안하였다. 등단면감소율과 등하중 이론을 적용하여 단면감소율을 설정하고, 전기장해석을 통한 등전위선을 이용하여 중간다이 단면형상을 설계하였다. 제안된 방법에 대하여 Fig. 1 과 같이 2 패스 인발공정으로 생산되는 크로스 롤러 가이드를 이형인발공정에 적용하였으며, 성형해석과 이형인발실험을 통하여 본 연구에서 제시한 패스 스케줄 방법에 대해 그 타당성을 검증하였다.

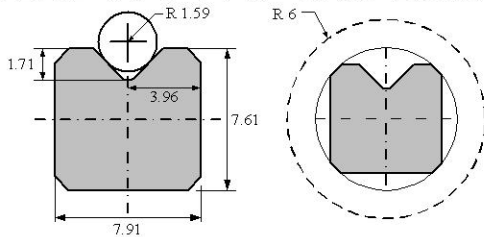


Fig. 1 Initial and final sectional shape of cross roller guide

2. 단면감소율 설정

다단 이형인발공정 시 각 패스의 단면감소율 설정이 중요하다. 현재까지 다단 이형인발공정의 경우 현장경험에 의존하며 체계적인 기준이 마련되어있지 않다. 본 연구에서는 등단면 감소율과 등하중이론을 적용하여 단면감소율 설정방법을 제안하였다.

2.1 등단면 감소율 설정

등단면 감소율에서는 모든 패스의 단면감소율을 일정하게 설정한다. 패스 수가 n 인 다단 인발공정 시 등단면감소율의 평균 감소율은 식(1)로 계산되면 계산된 평균 감소율을 이용한 각 패스의 단면적은 식(2)와 같이 계산된다.²

$$r_{ave} = 100 \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_0} \right)^{1/n} \right\} \quad [\%] \quad (1)$$

$$A_i = \left(1 - \frac{r}{100} \right) \cdot A_{i-1} \quad [\text{mm}^2] \quad (2)$$

여기서, r_{ave} 는 평균 단면감소율, A_0 는 초기단면적, A_f 는 최종 단면적, n 은 총 패스 수 i 는 패스번호이다.

Fig. 1 의 크로스 롤러 가이드의 경우 평균 단면감소율은 29.88%이고, 첫 번째 패스의 단면적은 79.29mm²이다.

2.2 등하중 단면감소율 설정

본 연구에서는 각 패스의 인발하중이 일정한 등하중이론을 적용한 단면감소율 설정방법도 제안하였다.³ 먼저 등하중 이론을 적용하기 위해 적용 가능한 단면감소율 범위를 설정하였다. 적용형상의 경우 중간패스 단면감소율이 15%이하인 경우 중간형상이 초기소재보다 크고, 35% 이상인 경우 최종형상보다 작아져 인발이 불가능하다. 따라서, 단면감소율 범위를 20~30%로 설정하였다.

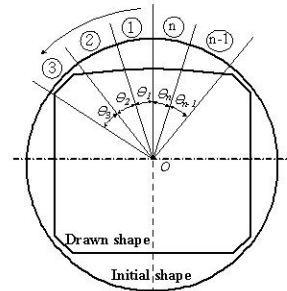


Fig. 2 Cross section method for drawing load

본 연구에서는 하중이 같아지는 단면감소율을 예측하기 위하여 Lee 등이 제안한 단면요소분할법을 적용하였다.³ 단면요소분할법이란 Fig. 2 에서 보듯이 단면을 유한개의 요소로 나누어 각 요소에 대하여 축대칭 하중예측모델을 적용함으로써 이형인발하중을 간단히 예측할 수 있는 방법이다.

A. Geleji 가 제안한 식을 응용한 분할 요소 i 의 인발하중은 다음의 식(3)으로 계산된다.

$$Z_i = k_{m,i} (F_i + Q_i \cdot \mu_i) + 0.77 \cdot k_{fm} \cdot f_{2,i} \cdot \alpha_i \quad (3)$$

여기서 Z_i 는 인발하중, $k_{m,i}$ 는 재료의 평균변형저항, k_{fm} 는 재료의 평균변형강도, F_i 는 다이 입구부와 출구부의 단면적 차이, Q_i 는 소재와 다이 접촉면길이, μ_i 는 다이와 소재 사이의 마찰계수, $f_{2,i}$ 는 다이출구부 단면적, α_i 는 다이반각이다.

초기, 중간, 최종형상에 대해 단면요소분할법을 이용한 결과 중간형상 단면감소율이 27%인 경우 1, 2 패스 의 인발하중은 각각 3.05ton, 3.09ton 으로 유사하였다. 또한, 단면감소율이 27%인 경우의 중간패스 단면적은 82.55mm²이다.

3. 중간패스 단면형상 설계

각 패스별 단면감소율이 설정되면, 중간패스 단면형상이 설계되어야 한다. 본 연구에서는 Shin 등이 제안한 등전이론을 이용하여 중간패스 단면형상을 설계하였다.⁴ 전기장 해석 시 두 도체 사이에 전압이 서로 겹치거나 중복되지 않는 등전위면이 형성된다. 본 연구에서는 중간형상을 결정하기 위해 범용 유한요소해석 S/W 인 ANSYS Ver.10 을

이용하여 2 차원 전기장 해석을 수행하였다. Fig. 4 는 초기 형상과 최종형상에 각각 10V 와 0V 를 걸어 해석한 후 1~4V 의 형상을 나타낸 것이다.

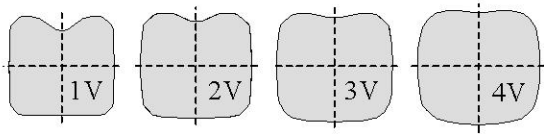


Fig. 4 Shapes from electric field analysis

4 가지 형상의 단면형상들에 대하여 등단면감소율 및 등하중 단면감소율을 갖도록 식(4)로 계산되는 스케일계수를 이용하여 각 단면들을 확대/축소 하였다.

$$SF_i = \sqrt{A_i / A} \quad (4)$$

여기서, A_i 는 등단면감소율 및 등하중 단면감소율 적용 시 요구되는 중간패스 단면적, A_i 는 Fig. 4 의 단면들의 면적이다. 확대/축소된 형상에 대해 최적의 중간단면형상은 유한 요소해석으로 결정하였다.

4. 이형인발공정 성형해석

등단면감소율과 등하중감소율 및 전기장 해석을 이용해 확보된 다양한 단면형상들에 대하여 Fig. 5 와 같이 성형해석을 수행하여 가장 우수한 중간패스 단면형상을 결정하였다. 또한, 본 연구에서 제시한 두 가지 설계방법의 타당성을 검증하기 위해 현장 작업자의 노하우로 설계된 공정에 대한 해석도 함께 수행하여 그 결과를 비교하였다.

성형해석은 DEFORM-3D Ver.5.0 을 이용하여 수행하였다.

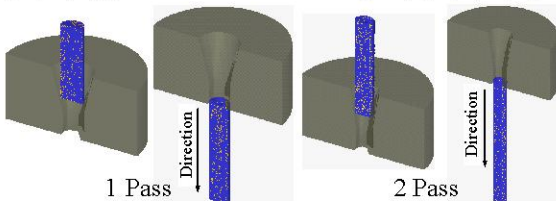


Fig. 5 FE-analysis of the shape drawing process

Table 1 Condition of shape drawing

Condition	Value
Diameter(mm)	12.0
Bearing length(mm)	8.0
Friction factor(m)	0.1
Material	AISI1020
Velocity(mm/sec)	200.0

다이각도는 모든 공정에 있어 1 패스는 15°, 2 패스는 8° 로 설정하였다. Table 1 에 이상의 조건을 나타내었다. 총 단면감소율은 50.84%이며, 첫 번째 및 두 번째 패스의 단면감소율은 등단면감소율의 경우 모두 29.88%이며, 등하중감소율의 경우 각각 27%, 32.64%이다. 그리고 현장 적용공정의 경우 각각 24.58%, 34.81 이다. 성형해석결과로부터 최종제품의 단면 치수정도가 가장우수한 형상을 중간패스 형상으로 설정 하였다. 단면 치수 정도는 식(6)과 같이 미충만율(Unfilled Rate)로 평가하였다.

$$UR = (1 - A_{analysis} / A_{final}) \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

그 결과 2V 의 단면형상이 치수정도가 가장 우수함을

알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 2V 의 단면 형상을 중간패스로 설정하였다.

5. 이형인발 실험 및 고찰

제시한 등단면감소율과 등하중감소율을 이용한 중간패스 설계방법에 대한 타당성을 검증하기 위해 이형인발실험을 수행하였다. 실험은 MTS(25ton)을 이용하였으며, 다이와 치구를 제작하여 성형해석 조건과 동일하게 수행하였다.

최종 인발된 제품에 대해서 3 차원 투영기로 단면적을 측정한 후 미충만율을 계산하였다. Table 2 에 각 경우에 대한 패스별 단면적과 미충만율을 나타내었다.

Table 2 Comparison of section area between drawing and experiment

	Die area[mm ²]	Experiment area[mm ²]	UR[%]
	1pass		
Equal-reduction	79.29	79.186	0.131
Equal-load	82.55	82.312	0.288
Industrial design	85.29	84.996	0.344
2pass			
Equal-reduction	55.60	54.417	2.157
Equal-load	55.60	54.276	2.381
Industrial-design	55.60	54.189	2.573

최종제품에 대한 미충만율은 등단면감소율을 적용한 설계방법이 가장 좋았으며, 다음으로 등하중감소율, 현장 노하우 순이었다. 따라서, 본 연구에서 제시한 설계방법을 적용할 경우 현재 적용되고 있는 공정보다 최종제품의 치수정도가 보다 우수함을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 다단 이형공정에 대한 각 패스의 단면감소율을 일정하게 유지하는 등단면 감소율, 각 패스의 인발하중을 균일하게 하는 등하중 감소율을 적용하여 단면감소율을 설정하였다. 전기장 해석을 통하여 추출된 형상들에 대해 두 가지 방법의 단면감소율로 확대/축소하였으며, 성형해석을 통해 가장 우수한 형상(2V)을 설정하였다. 또한, 이형인발 실험을 통해 선정된 형상에 대한 타당성을 검증하였다. 시험결과 성형해석 결과와 동일하게 본 연구에서 제시한 방법을 적용할 경우 최종제품의 치수정도가 향상됨을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. K. Lange, Handbook of Metal Forming, Mcgraw-Hill Company, 1985.
2. JSTP, Drawing Process, Korona, 1990.
3. T.K. Lee, C.J. Lee, S.K. Lee, B.M. Kim, 2009, Prediction of drawing load in the shape drawing process, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 4, pp.323~328
4. H. K. Shin, S. R. Lee, C. H. Park, D. Y. Yang, 2002, The optimal design of preform in 3-D forging by using electric field theory, Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 2, pp. 165~170