

고강도 육각 이형 인발 다이스에 관한 연구

권혁홍*(대진대 기계설계공학과), 유동진**(대진대 컴퓨터응용기계설계학과),
이정로***, 이원복*** (대진대 기계설계공학과 대학원)

A study on the hexagonal drawing dies for the high strength materials

H. H. Kwon(Mech. Design Eng., DJU), D. J. Yoo(Comp. Aided Mech. Design Eng., DJU),
J. R. Lee, and W. B. Lee(Graduate School, DJU)

ABSTRACT

Drawing is a basic plastic deformation method and productive manufacturing process make wire, rod and variety section geometry bar. Study for the rod drawing process of rod was researched long times, but non-axisymmetric drawing process is weak. So metal flow is very irregular in non-axisymmetric drawing process and difficult to define about material deformation generally. In this paper, to solve material deformation, use finite element method and then define suitable shape for rod to hexagonal drawing dies. And research corner filling rate and surface roughness for the high strength steel hexagonal bar produced defined dies.

Key Words : drawing dies(인발금형), non-axisymmetric drawing(비축대칭인발), corner filling(코너채움), surface roughness(표면조도), NURB surface(NURB 곡면)

1. 서론

환봉으로 이형봉을 인발가공하는데 여러 가지 인자가 생산성과 인발제품의 품질에 영향을 끼친다. 단면 형상이 축대칭이 아니기 때문에, 금형내부의 재료의 충만도와 가공 중 재료의 변형, 상당 변형률 분포와 금형의 면압 등이 불균일하게 된다. 이와 같은 이형인발금형의 설계에 있어서 제품의 치수 정밀도와 표면조도가 주요 관심사항이 된다.⁽¹⁾

지금까지 생산현장에서 사용되는 스테인레스 재질의 육각봉 제조공정은 구입여건상, 열간압출을 통해 제조된 환봉을 소재로 황삭 개념의 1차 인발공정을 거쳐 대략적인 육각형상으로 성형하고 이 결과물을 소재로 재차 인발공정을 통하여 원하는 제품 치수를 결정하고 표면조도를 얻어내는 방법을 사용하여 왔다. 이러한 공정은 다공정을 통한 생산공정이 소요되므로 공정수증가로 인한 원가상승 및 생산성감소라는 문제점을 가지고 있다. 현재 구리 및 알루미늄 재료의 1회 인발가공을 통한 제품생산은 이루어지나 스테인레스와 같은 고강도재료의 경우 재료특성상 어려움이 많다.⁽²⁾

따라서 본 연구에서는 고강도재료인 스테인레스를 제품의 형상을 결정짓는 금형내부형상의 변화를 통하여 코너채움과 표면조도를 향상시키고자 하였다. 이를 위하여 금형형상을 6가지로 정의하고 실험계획을 수립하였으며 각 형상에 따른 해석을 통하여 1회가공을 통한 환봉에서 육각봉으로의 가공성 및 생산성이 우수한 금형형상을 결정하고자 한다.

2. 형상 모델링

2.1 금형 내부 형상 모델링

인발금형설계에 있어서 소재의 원활한 유동에 대한 고려는 필수적이며 이를 위해서는 금형 내부에 대한 연구가 선행되어야 한다. 일반적으로 스테인레스 304 인발금형의 육각소재에서 육각제품으로의 인발금형형상이 소재의 성형성과 금형의 응력감소에 가장 적합한 형상이며 실제현장에서도 가장 많이 사용되는 금형형상이다. 하지만, 환봉에서 육각으로의 인발의 경우 이러한 금형의 형상으로는 소재의 성형성과 금형에 가해지는 응력에 적합한 형상이 되지 못한다.⁽³⁾ 따라서 본 연구에서는 환봉에서 육각봉으

로의 인발가공을 위하여 Fig. 1에 인발공정수행과정을 나타냈으며 기존 인발금형의 형상을 이용한 육각 인발 금형과 현장경험에 의한 변형된 형상, 그리고 NURB곡면을 이용한 금형의 형상을 Table. 1과 2에 형상화하였다.

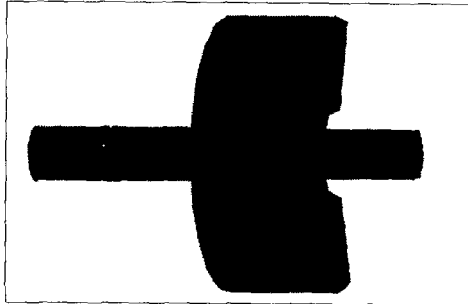


Fig. 1 Drawing process of the rod to hexagonal

2.1.1 일반적인 금형 형상

Type-1(Rod to Hex 형상)은 가장 일반적인 형상으로 소재의 단면형상과 요구단면형상으로 생성한 금형으로 소재의 흐름이 환봉에서 육각으로 유도되므로 가공성이 우수한 금형형상이며 Type-2(Hex to Hex 형상)는 제품의 코너채움에 유리한 형상으로 실제 현장에서 주로 사용하며 Type-3(Circle and Hex to Hex)는 소재의 단면형상과 제품의 단면형상을 조합한 형상으로 코너채움 및 금형 응력을 감소하지만 금형제작에 난이도가 있는 금형형상이다.

Table. 1 Normal die shape of hexagonal drawing dies

Types of dies	Shapes	
Type-1 : Circle to hex		
Type-2 : Hex to hex		
Type-3 : Circle and hex to hex		

2.1.2 NURB surface금형 형상

금형의 형상에서 소재의 유동을 보다 정확하게

표현하기 위하여 식(1)의 NURB 곡선의 방정식을 이용하여 금형상부의 원형상 및 하부의 육각형상을 정의하고 식(2)의 NURB 곡면의 방정식을 이용하여 금형의 형상을 정의하였다. 본 연구에서는 벡터방향은 수직방향으로 고정하고 변형에 대한 가중치를 부여함으로써 금형을 형상화하였다.⁽⁴⁾

$$P(u) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i P_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n h_i N_{i,k}(u)} \quad (1)$$

$$0 \leq u \leq n - k + 2$$

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} P_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)} \quad (2)$$

$$0 \leq u \leq n - k, 0 \leq v \leq m - l + 2$$

P 는 조정점의 좌표점, h 는 호모지니어스 좌표이다.

Table. 2 NURB surface die shape of hexagonal drawing dies

Types of dies	Shapes	
Type-4 P1:18, P2:18		
Type-5 : P1 : 18, P2 : 2		
Type-6 : P1 : 2, P2 : 18		

2.2 소재 및 기타 형상 모델링

육각인발을 하기위한 소재는 환봉상태이며 지름은 $\Phi 20\text{mm}$ 이다. 육각형상은 Z축에 대하여 30° 각격으로 서로 대칭되어 있으며 해석소요시간 단축을 위하여 1/12로 분할 모델링을 행하였다. 또한, 그 분할면에 대칭구속조건을 부여할 가상의 대칭면을 형상화하였으며 인발할 조우를 형상화하였다.

3. 유한요소해석

3.1 일반 형상 금형의 유한요소해석

3.1.1 성형해석

육각인발에 사용된 소재는 스테인레스 304이며 유동응력 관계식은 식(3)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 1550.45\bar{\epsilon}^{0.55} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

일반 형상의 성형해석 결과 Fig. 2와 같은 소재의 단면형상으로 Table. 3과 같은 결과를 얻을 수 있으며 현장경험에 의한 금형형상인 Type-3 금형의 코너채움율이 가장 높았다. 이 때, L1은 소재중심에서 가공된 소재의 코너까지의 길이, L2는 금형의 중심에서 금형의 코너까지의 길이이다. Fig. 3과 Fig. 4는 Type-3에 대한 소성가공시 유효응력분포와 하중-변위선도 그래프를 나타내었다.

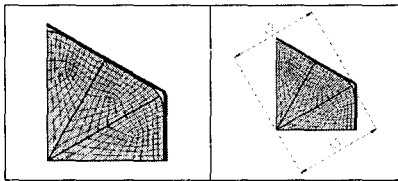


Fig. 2 Section view of billet

Table. 3 Corner filling rate for normal dies type

Die types	L1(mm)	L2(mm)	Coner filling rate(%)
Type-1	9.430	9.77	96.51
Type-2	9.442		96.64
Type-3	9.466		96.90

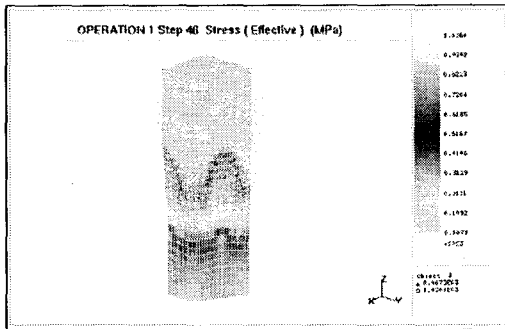


Fig. 3 Distribution on effective stress of drawing bar

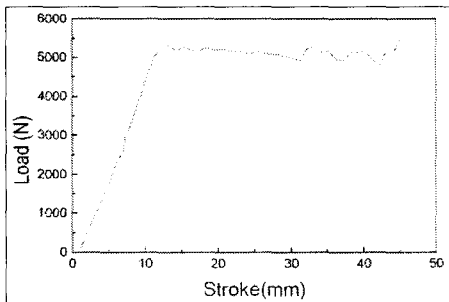


Fig. 4 Load-stroke of drawing process for stainless 304

3.1.2 금형강도해석

성형해석결과 코너채움율이 가장 높은 Type-3 금형을 성형해석시 사용된 표면(surface)금형형상을 이용하여 솔리드 모델링하여 강도해석을 하였으며 사용된 금형의 재료 및 물성치는 Table. 4와 같으며 강도해석결과 Fig. 5와 같이 최대유효응력이 코어에 2496MPa이 작용하므로 안전한 수치이다.

Table. 4 Material properties of the drawing die

Material	E(MPa)	Y(MPa)	v	
Core	D3	450,000	3,300	0.24
Case	SM45C	205,000	2,090	0.3

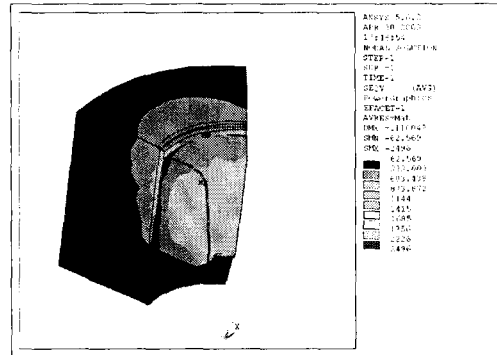


Fig. 5 Equivalent stress of dies by the drawing process

3.2 NURB 곡면 형상 금형의 유한요소해석

3.2.1 공정해석

금형의 표면요소망(surface mesh)모델을 제외한 모든 설정은 일반 금형 형상에서 사용한 설정과 동일하게 행하였고 금형의 형상은 NURBS 곡면 요소망 생성 프로그램을 이용하였다. 해석결과 코너채움률은 Table. 5와 같으며 Type-6가 가장 좋으며 충만되지 않은 길이는 Fig. 6과 같다.

Table. 5 Corner filling rate for NURBS surface dies

Die types	L1(mm)	L2(mm)	Coner filling rate(%)
Type-4	9.429	9.77	96.51
Type-5	9.454		96.76
Type-6	9.506		97.30

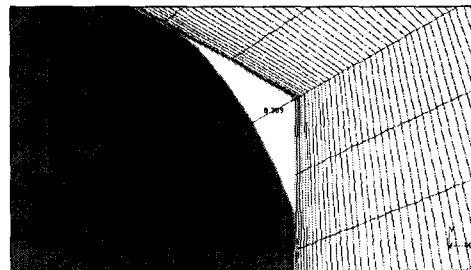


Fig. 6 Un-Corner filling length of Type-6 (P1:P2=18:2)

4. 결과 및 고찰

Fig. 7과 같이 일반적인 인발금형을 제작하였으며 Fig. 8과 같은 인발 공정에 의해 실험을 하였다.

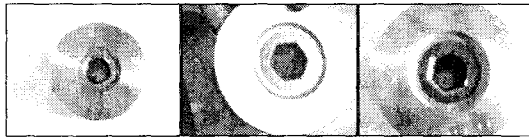


Fig. 7 Manufactured drawing dies using normal shape



Fig. 8 Drawing process using normal shape dies

실험결과 Fig. 9와 같이 코너채움량에 따른 해석 결과와 비교하였다. 일반적인 형상에 의한 금형설계의 실험결과 Type-3의 경우 코너채움이 가장 좋았다. 실험결과와 해석결과가 서로 상이하지 않았으며 실험에서의 코너채움량이 해석에서의 코너채움량보다 0.33% 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. NURB 곡면을 이용한 금형설계로 유한요소해석 결과 가중치 P1,P2의 비가 18:2인 경우 소재의 코너채움률이 가장 좋았다.

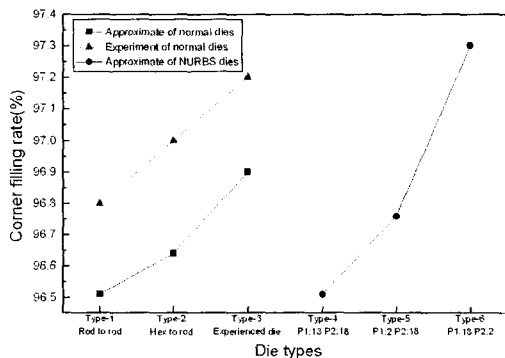


Fig. 9 Comparison corner filling of normal and NURBS dies

일반적인 형상의 금형으로 생산한 제품의 표면조도를 측정하여 Fig. 10과 같이 나타내었다. 각각의 금형에서 인발된 육각봉에 대하여 인발방향과 수직방향에 대하여 표면조도측정을 하였으며 측정결과 Fig. 10과 같이 Type-3의 평균표면조도가 가장 우수

하게 나타났다. 여기서, Ra는 중심선평균거칠기를 나타낸다.

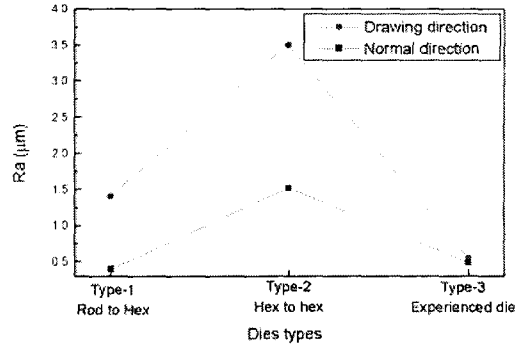


Fig. 10 Comparison of each hexagonal bar for the surface roughness

또한, Type-3의 가공전의 소재의 경도는 HRB 70, 가공후 경도는 HRB 100.1로 기계적성질이 43% 더 향상되었다.

5. 결론

본 연구에서는 고강도 이형 인발 금형의 코너채움을 유한요소법을 통해 검증하였고 NURB 곡면을 이용한 인발금형 프로그램 개발 및 유한요소법을 통해 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현장경험에 의한 금형인 Type-3가 One-Pass 공정에 가장 합리적인 금형설계임을 검증하였다.
- 2) NURB 곡면을 이용한 자동이형인발금형 생성 프로그램을 개발하였다.
- 3) NURB 곡면을 이용한 금형설계로 코너채움 및 표면조도의 향상가능성을 제시하였다.

이에 따라 NURB 곡면을 이용한 금형의 강도해석과 금형을 제작하기 위해서 CNC가공을 위한 CAD 데이터가 필요하다. 이러한 CAM관련 부분에 대해서는 향후 연구과제로 진행할 계획이다.

참고 문헌

1. 김호창, 김용철, 최영, 김병민, 강소성 유한요소법을 이용한 원형봉에서 정사각재 인발공정에 관한 연구, 정밀공학회, 제15권, 제 11호, 145-151.
2. H. H. Kwon, J. R. Lee, Die Design of Hot Extrusion for Hexagonal Insert, KSMTE, Vol.11, No.1, 32-37.
3. 김용철, 김동진, 김병민, 원형봉에서 사각재 인발공정의 코너채움에 관한 연구, 한국정밀공학회 17권 6호, 143-152.
4. Les Pigel and Wayne Tiller, 1995, The NURBS Book, Springer.