

회전압출다이를 사용한 헬리컬 핀붙이 원형단면 제품의 압출가공에 관한 연구

박승민¹ · 진인태[#]

A Study on Extrusion Process of Cylindrical Product with Helical Fins Using Rotating Extrusion Die

S. M. Park, I. T. Jin

(Received April, 28, 2005)

Abstract

A new extrusion process of the circular section product with helical fins could be developed by rotating extrusion die. The twisting of extruded product is caused by the twisted conical die surface connecting the die entrance section and the die exit section linearly. But, until now, because the process has used fixed extrusion die, it needs high pressure in order to twist billet and form fin shape on the surface of billet. So, during extruding billet, in order not to twist billet, the extrusion die is needed to rotate itself instead of twisting of billet. It is known that it is possible to reduce extrusion load of product with helical fins by analysis and experiments using rotating die. And it is known that, through the extrusion load analysis by DEFORMTM-3D software, optimal rotational velocity of rotating die can be obtained according to reduction ratio of area and twisted angle of die. And experiments and analysis using rotating extrusion die show that the twisted angle of product can be controlled by twisted angle of extrusion helical die and the rotational velocity of extrusion helical die.

Key Words : Extrusion, Rotating Die, Conical Die, Twisted Surface of Die, Helical Fin, Twisted Angle of Die

1. 서 론

압출가공과 비틀림가공을 동시에 할 수 있는 비틀림 압출가공법에 대한 가공변수의 영향을 고려하기 위하여 비틀림 현상을 일으키는 주요 원인이 되는 금형의 비틀림각도, 즉 헬리컬형 금형을 입구에서부터 금형의 출구단면까지 금형 축을 중심으로 비틀어진 금형 형상에 의해서 제품의 비틀어짐을 3 차원 비틀림 해석용 동적가속속도장을 제안하여 상계정리(upper-bound theorem)로 해석한 바 있으며[1~4], 또한 고정된 헬리컬 다이를 사용한 해석으로 Yang[5~6] 및 Kiuchi[7]등에 의해 얻

구된 바 있다. 그러나 상기의 연구는 고정된 압출다이를 사용함으로써 헬리컬 치형을 만들 때 치형을 성형하는 하중과 소재를 회전시키는 하중을 동시에 받기 때문에 압출다이의 표면에 과도한 하중이 걸리게 된다.

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 상기의 비틀어진 원추형 압출다이를 압출 중에 소재가 회전하는 반대방향으로 회전시킴으로써 소재를 회전시키지 않으면서 소재의 표면상에 헬리컬 치형을 가공할 수 있게 된다.

이와 같이 다이를 회전시키는 압출가공에 대해서 DEFORMTM-3D 를 이용한 성형해석을 통하여

1. 부경대학교 대학원
교신저자 : 부경대학교 기계공학부, jint@pknu.ac.kr

비틀어진 다이를 사용하더라도 소재가 비틀어지지 않으면서 헬리컬 핀을 성형하여 압출 하중을 줄임과 동시에 다이의 내마모성을 높일 수 있는지 확인하고자 한다.

2. 회전압출가공 원리 및 성형 해석

2.1 회전압출가공기 및 작동원리

Fig. 1은 회전압출가공기의 개략적인 그림으로 압출 가공 중 피니언 기어와 맞물려 있는 랙 기어에 의해서 소재가 회전하는 반대방향으로 다이를 회전시킴으로서 소재는 회전하지 않으면서 비틀어진 압출제품을 가공하는 원리이다.

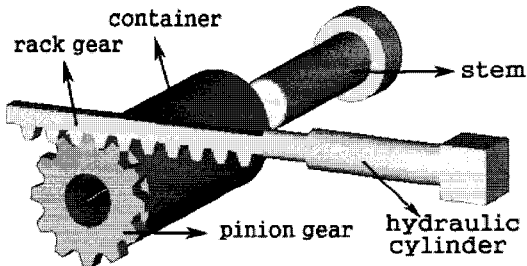


Fig.1 Extrusion process using rotating die

2.2 회전압출다이 어셈블리 및 다이 구조

Fig. 2는 회전압출다이의 내부구조로서 전면에 피니언 기어가 부착되어 있는 회전압출다이가 컨테이너와 함께 홀더 내부에 삽입되어 있으며 다이는 피니언 기어(pinion gear)와 회전장치의 랙 기어(rack gear)에 의해서 회전될 수 있으나 컨테이너는 압출회전장치의 하우징(housing)에 고정되어 회전하지 않는 구조를 가지고 있다.

Fig. 3은 해석에서 사용된 헬리컬 회전압출다이로서 8개의 사각단면 헬리컬 핀을 가지고 있다. Fi 좌측은 압출다이의 솔리드 모델링이며 우측은 그 내부의 와이어 프레임(wire frame)형상이다. 그리고 압출 가공 중 다이를 회전시키기 위해서는 입구의 원형단면에서 출구의 치형을 가진 단면까지의 경사면상에 등각으로 연결된 비틀어진 곡면을 구성하고 있는 것이 이 회전압출다이의 특징이다.

Fig. 4는 성형해석과 실험에서 사용된 원형 단면 핀블이 회전압출다이로서 4개의 원형단면 헬리컬 핀을 가지고 있으며 좌측은 압출다이를 가공하기 위하여 모델링 한 것이며, 우측은 그 내부형상의 와이어 프레임(wire frame)형상이다.

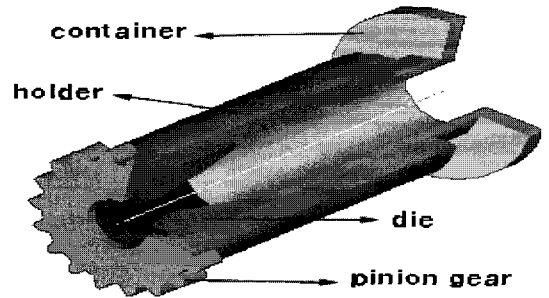


Fig. 2 Rotating extrusion die assembly

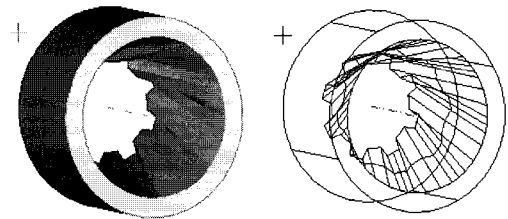


Fig. 3 Twisted extrusion die with 8 fins

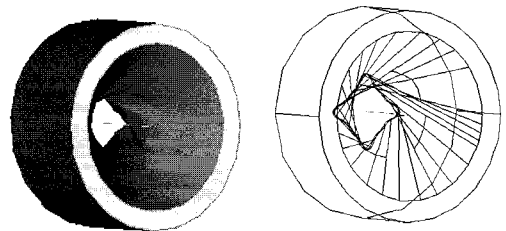


Fig. 4 Twisted extrusion die with 4 fin

2.3 사각단면 헬리컬 핀블이 압출제품의 압출회전 가공 성형해석

2.3.1 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이를 사용한 성형 해석 결과 및 고찰

Fig. 5(a)는 사각단면 헬리컬 핀블이 압출제품의 단면 형상으로 8 개의 사각 단면 핀을 가지고 있다. Fig. 5(b)는 압출 가공 후 압출 되어져 나온 제품의 형상으로서 헬리컬 치형이 일정한 각도로 비틀어져 있는 형상이다.

Fig. 6은 DEFORM™-3D에 의한 해석 결과로서 회전압출다이와 회전압출 되어져 나온 헬리컬형

제품의 비틀어진 변형 형상이다. 이 때의 소재로는 알루미늄 1100을 사용하였으며 50000개의 메쉬로 모델링하여 0.127mm/sec의 압출속도로 해석하였다. 압출다이의 회전에 의하여 사용되는 소재는 회전하지 않고 제품의 헬리컬 치형 부분만 성형 되어진 모양이다.

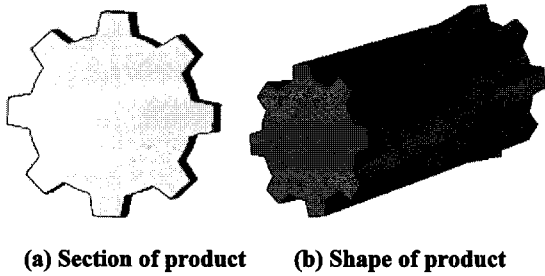


Fig. 5 Section and shape of extruded product

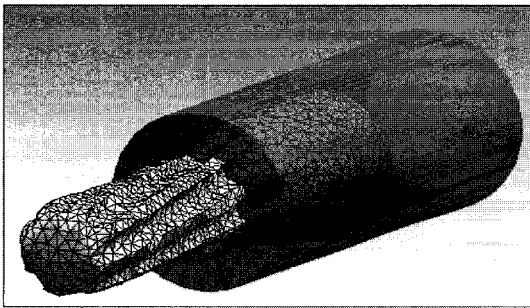


Fig. 6 Simulation result of extrusion process using rotating die

Fig. 7은 압출 가공 과정을 정면에서 본 그림으로 소재가 회전하는 반대방향으로 다이를 회전시킴으로서 압출이 진행함에도 불구하고 소재가 회전하지 않으면서 비틀어진 제품의 형상을 가공하고 있는 것을 나타낸 해석그림이다.

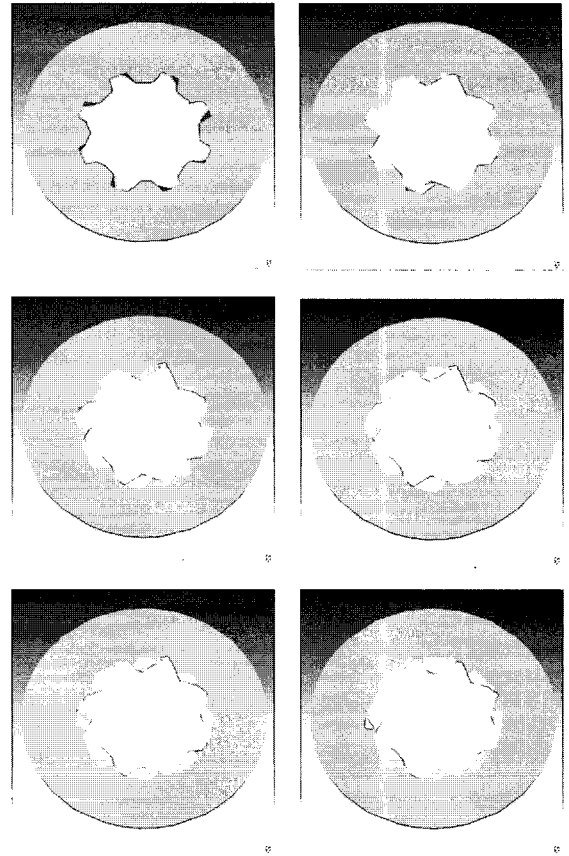


Fig. 7 Front view of extrusion process using rotating die with 8 fins

2.3.2 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스를 사용했을 때 압출 하중 비교 및 고찰

Fig. 8 은 고정된 다이스를 사용한 경우에 압출 하중이 141.45kN 로 나타났으며 Fig. 9 에서는 회전다이스를 사용한 경우에 압출 하중이 120.99kN 로 회전하는 다이스를 사용한 경우에 압출 하중이 작게 나타남을 알 수 있다. 이 두 그림에서 압출 가공 중에 제품의 표면에 헬리컬 핀이 성형될 때 소재를 비틀어지게 하는 하중의 크기 만큼 줄어들었음을 보여주고 있다.

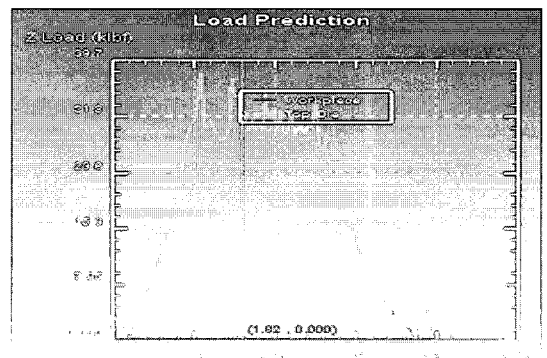


Fig. 8 Relation of the extrusion load and stroke using fixed die

2.3.3 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 및 고찰

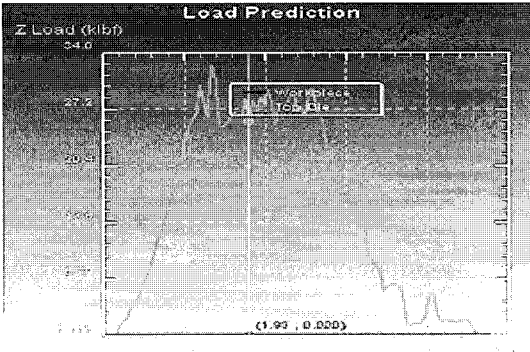


Fig. 9 Relation of the extrusion load and stroke using rotating die

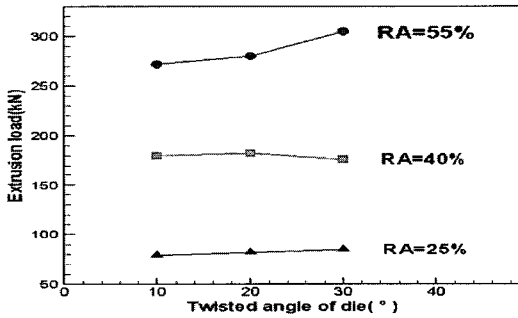


Fig.10 Extrusion load using fixed die

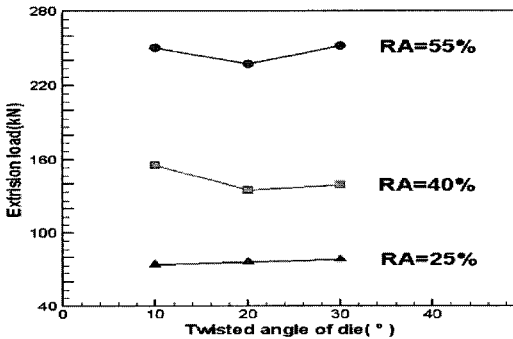


Fig.11 Extrusion load using rotating die

Fig.10은 고정된 다이에 대하여 DEFORM™-3D를 이용하여 압출하중의 해석 결과이며 Fig.11은 회전하는 다이를 사용할 경우의 압출하중을 나타낸다.

다이를 제품의 비틀어진 방향과 반대로 회전시킬 때의 Fig.11의 압출 하중이 다이를 고정시킬 때의 Fig.10의 압출 하중보다 작게 나타남을 알

수 있었다. 그리고 Fig.10에서 다이를 회전시키지 않는 경우에는 비틀어진 각도가 크면 클수록 압출 하중이 대체로 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig.11에서와 같이 회전하는 다이를 사용하는 경우에는 다이의 비틀림 각도의 크기에 관계없이 대체로 일정하게 나타남을 알 수 있는데 이것은 다이를 회전하는 경우에는 다이의 비틀어진 각도와 상관없이 압출 하중이 균일하게 된다는 것을 알 수 있다.

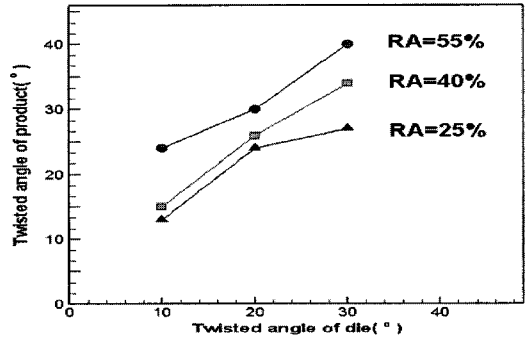


Fig.12 Twisted angle of product using fixed die

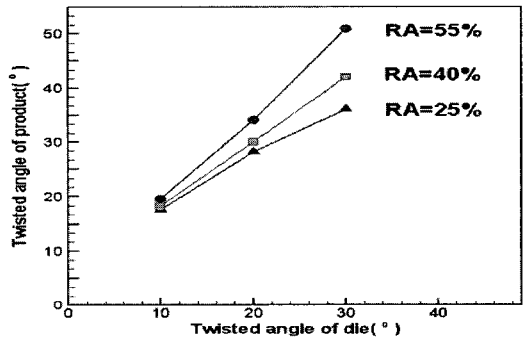


Fig.13 Twisted angle of product using rotating die

2.3.4 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 제품의 비틀림 각도 해석 결과 및 고찰

Fig.12,13은 DEFORM™-3D를 이용하여 서로 다른 단면감소율과 다이 비틀림 각도를 가질 때의 고정된 다이와 회전하는 다이의 비틀림 해석 결과이다. 다이의 단면감소율이 일정할 때 다이의 비틀림 각도가 클수록 압출되어진 제품의 비틀림이 더 커진다는 것을 알 수 있으며 회전하는 다이를 사용하는 Fig.13의 그림에서처럼 다이를 회전할

때 제품의 비틀림 각도가 더 크게 나타남으로서 제품을 비틀게 할 때는 더 효과적임을 알 수 있다.

2.3.5 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 다이의 최적 회전 속도 해석 및 고찰

Fig.14는 각각의 단면 감소율에 대해서 압출 가공 중 압출 하중을 최소한으로 줄 일 수 있는 최적의 다이 회전속도를 찾은 그래프이다. 각각의 단면 감소율과 다이의 비틀림 각도에 따른 최적의 다이 회전 속도는 단면 감소율이 클수록 그리고 비틀림 각도가 더 많이 비틀어질수록 최적의 다이 회전 속도 또한 커진다는 것을 알 수 있다.

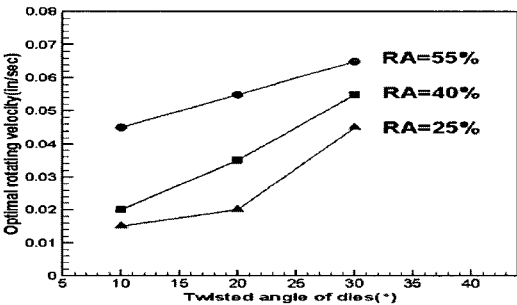
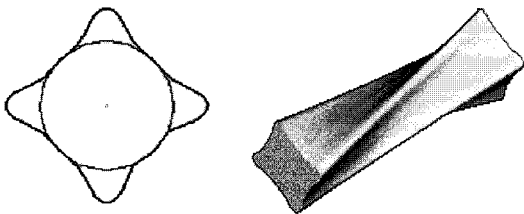


Fig.14 Result of optimal rotating velocity

2.4 원형단면 헬리컬 핀볼이 압출제품의 압출회전 가공 성형해석

2.4.1 변형형상 해석 및 압출 하중 해석 결과 및 고찰

Fig.15는 원형단면 헬리컬 핀볼이 압출제품의 단면 형상과 압출되어진 제품의 형상을 모델링한 것으로 원형단면에 4개의 핀을 가지고 있으며 제품 전체적인 단면 형상은 사각단면 형상이다.



(a) Section of product (b) Shape of product
Fig.15 Section and shape of extruded product

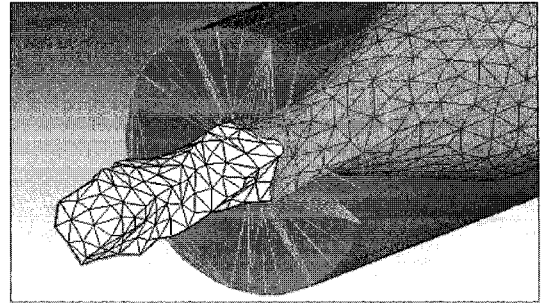


Fig.16 Simulation result of extrusion process using rotated die

Fig.16은 원형단면 헬리컬 핀볼이 압출제품에 대해서 회전압출다이를 사용한 압출회전가공 성형해석 결과 그림으로서 사용되어진 메쉬수가 적어 치형의 구분이 다소 곤란하나 제품의 비틀어진 변형 형상을 보여 주고 있다.

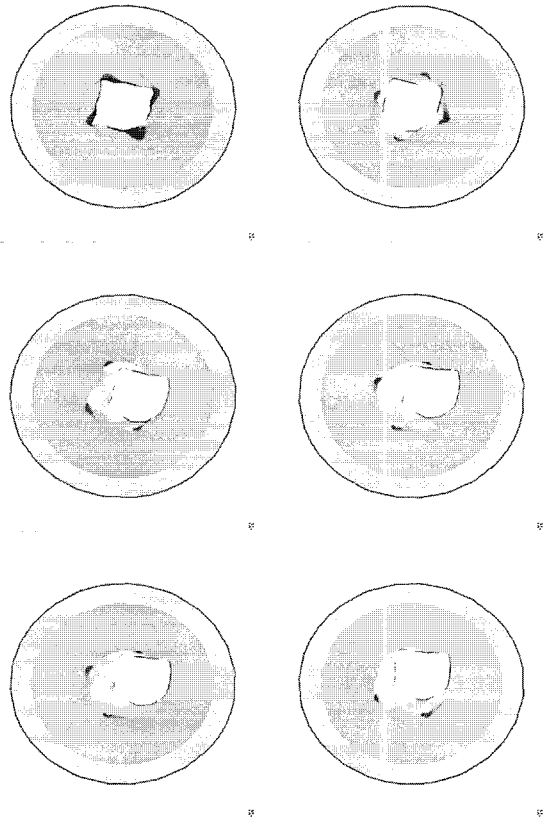


Fig.17 Front view of extrusion process using rotating die with 4fins

Fig.17은 압출 가공 과정을 정면에서 본 그림으로 소재가 회전하는 반대방향으로 다이를 회전 시킴으로서 압출이 진행함에도 불구하고 소재가 회전하지 않으면서 비틀어진 제품의 형상을 가공하고 있는 해석 그림을 나타낸다.

2.4.2 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 및 고찰

Fig.18은 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스의 비틀어진 각도에 대한 압출 하중을 나타내는데 다이를 고정시켰을 때의 압출 하중이 다이를 소재가 회전하려는 반대방향으로 회전시키면서 압출 가공 하였을 때의 압출 하중 보다 크게 나타났다.

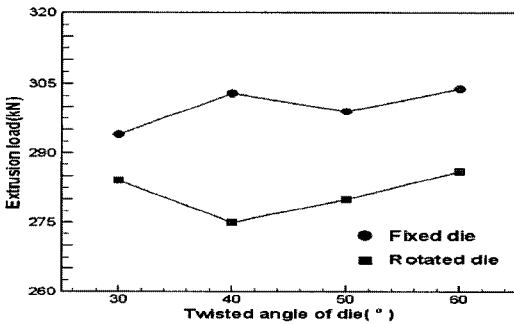


Fig.18 Comparison of extrusion load

2.4.3 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스의 비틀어진 각도에 따른 제품의 비틀림 각도 해석 결과 및 고찰

Fig.19는 고정된 다이스와 회전하는 헬리컬 다이스를 사용하여 압출 되어진 제품의 비틀림을 비교한 것으로 다이를 회전시켰을 때의 제품이 똑같은 가공 조건 즉 같은 단면감소율과 다이스의 비틀림 각도에서 보다 작은 압출 하중을 가지고 더 많이 비틀어졌다는 것을 알 수 있다.

2.4.4 헬리컬 다이스의 비틀어진 각도에 따른 다이스의 최적의 회전 속도 해석 및 고찰

Fig.20은 각각의 비틀어진 다이스 각도에 대한 최적의 다이스 회전 속도를 나타낸 것으로 다이스의 비틀어진 각도가 클수록 다이스 회전 속도 또한 빨라진다는 것을 알 수 있다. 이렇게 최적의 회전 속

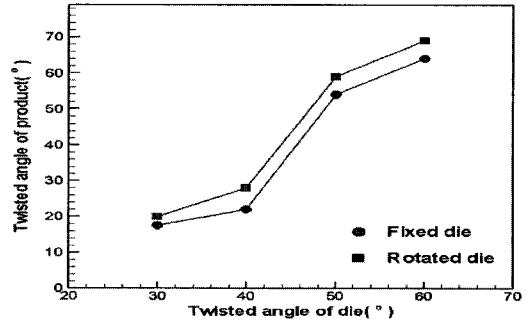


Fig.19 Comparison of twisted angle of product

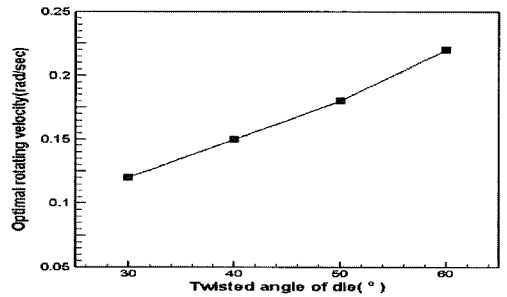


Fig.20 Optimal rotating velocity

도를 구하여 압출 하중을 최소한으로 줄일 수 있는 다이스의 회전속도를 구할 수 있다.

3. 원형단면 헬리컬 핀을 가진 압출 다이스를 이용한 실험 결과 및 고찰

3.1 압출회전가공 실험장치

Fig.21은 압출회전가공기로서 한 개의 메인 유압실린더와 직각 방향으로 놓여있는 한 개의 다이스 회전 장치 실린더로 구성되어 있는 복합식 압출가공기이다.

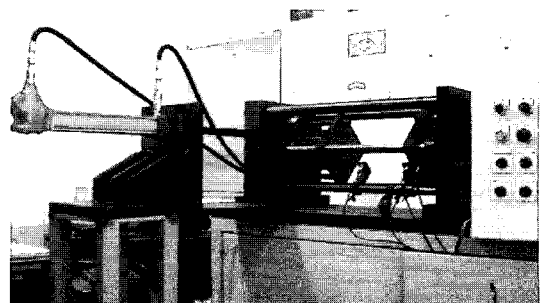


Fig.21 Photo of rotating extrusion machine

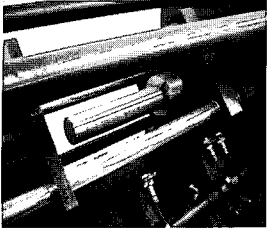


Fig.22 Extrusion stem

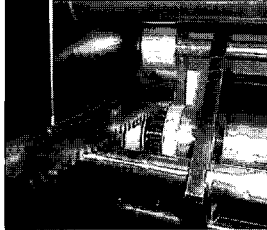


Fig.23 Rack gear and pinion gear

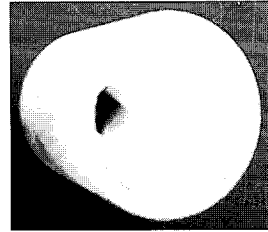


Fig.25 Photo of die

Fig.22는 압출회전가공 시 컨테이너에 삽입되어져 있는 소재를 압출시키는 스템(extrusion stem)으로서 직경이 $\varnothing 40\text{mm}$ 이고 길이는 180mm로 되어 있다.

Fig.23은 압출다이 전면부에 부착되어 있는 피니언 기어(pinion gear)와 랙 기어(rack gear)의 구조이다.

3.2 회전압출다이 실험장치

Fig.24는 실제 회전압출다이로서 다이가 컨테이너에 삽입되어 있는 구조를 가진 사진이다. 컨테이너 전면부에 피니언 기어가 부착되어 있는 다이가 삽입되어 있는데 피니언 기어와 다이는 압출 되어지는 방향에 수직한 방향으로 설치되어 있는 회전장치에 부착되어 있는 랙 기어와 맞물려 피니언 기어가 회전되도록 되어 있다.

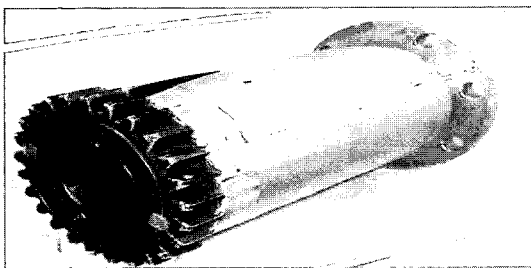


Fig.24 Photo of rotating extrusion die assembly

3.3 압출 다이

Fig.25는 실험에 사용된 회전압출다이로서 입구의 원형단면에서 출구의 헬리컬형 핀볼이 단면을 가지는데 이 구조는 원추형으로 단면적이 줄어들면서 등각으로 비틀어져 있는 치형을 형성하기 때문에 복잡한 형상을 가공하기 위하여 급속조형장치(rapid prototype)를 사용하여 가공하였다.

3.4 고정된 압출다이와 회전하는 압출다이를 사용한 압출제품의 단면 형상

Fig.26과 같이 회전장치를 사용하지 않았을 때는 소재가 비틀어진 다이 내부의 경사 표면에 의해 소재에 핀을 성형하면서 회전되어지는데 내부의 접합 단면을 기준으로 보면 소재가 비틀어졌음을 알 수 있다.

Fig.27은 회전장치를 사용하여 소재가 회전하는 방향에 반대방향으로 다이를 회전시키면서 압출한 제품의 단면으로 소재의 단면 형상은 비틀어졌으나 소재의 내부 접합 단면을 기준으로 하면 좌우대칭 형상으로서 소재가 회전하지 않았다는 것을 알 수 있다.

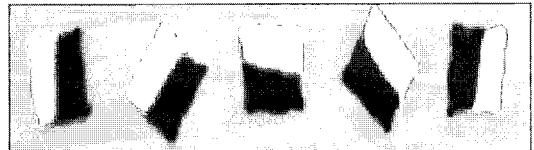


Fig.26 Section of extrusion bar using fixed die

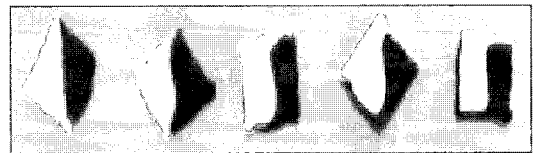


Fig.27 Section of extrusion bar using rotating die

4. 결 론

원형단면과 사각단면의 헬리컬 핀을 가진 원형 단면 압출 제품을 압출할 때 비틀어진 금형 표면을 가지 회전하는 압출다이를 이용한 압출성형 해석과 소성 가공용 모사 실험 소재를 사용한 압출회전 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을

수 있었다.

(1) 회전하지 않는 압출다이를 사용한 성형해석 결과는 소재를 비틀면서 헬리컬형 제품을 가공함으로써 가공 하중을 증가시킴을 알 수 있으나 회전하는 압출다이를 사용한 경우에는 비틀어진 다이를 사용하더라도 소재의 비틀어지는 방향과 반대방향으로 압출다이를 회전시키기 때문에 소재는 비틀어지지 않으면서 헬리컬 치형을 성형할 때 발생하는 하중을 최소화함으로써 압출 하중을 줄일 수 있다.

(2) 이와 같이 8개의 사각단면 헬리컬 핀을 가진 다이와 4개의 원형단면 헬리컬 핀을 가진 다이의 성형해석을 통하여 최적의 압출 가공 조건 즉 최적의 다이 회전 속도를 찾을 수 있었다.

이 때 사각단면 핀을 가진 다이를 사용한 압출 가공 중에는 단면 감소율이 25%, 40%, 55%일 때 다이의 비틀어진 각도를 각각10°,20°,30°로 하여 서로 다른 조건에서의 각각의 최적의 다이 회전 속도를 알 수 있었으며 실제 성형 해석과 실험에 사용되었던 원형단면 압출 다이의 경우에서도 가공 조건에 따른 최적의 다이 회전 속도를 찾아 낼 수 있었다.

(3) 압출회전가공에 플라스틱을 사용한 실험에서 4개의 원형단면 헬리컬 핀을 가진 다이를 사용했을 때 회전하는 다이를 사용한 경우 소재가 회전하지 않으면서 제품의 형상은 비틀어져 나오는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 회전하는 다이를 사용하여 헬리컬 핀을 가진 제품을 압출 할 경우에 기존의 고정된 비틀림 다이를 사용하여 비틀림 압출 가공 할 때 발생하는 과도한 소재의 비틀림 압출 하중을 각각의 서로 다른 압출 가공 조건에서 최적의 회전 압출다이 속도를 찾아 적용함으로써 압출 다이내부에서 소재의 표면에 핀을 성형하면서 회전하는 압출 하중만큼 줄일 수 있기 때문에 다이의 내구도가 향상되며 양질의 압출제품을 얻을 수 있을 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부경대학교 기계공학부 BK21의 TA 지원사업의 일부로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 권혁홍, 1993, 합금강의 냉간압출에 의한 고정밀도 헬리컬 기어의 제조에 관한 연구, 부산대학교 박사학위 논문.
- [2] 최재찬, 조해용, 권혁홍, 1991, 냉간단조에 의한 헬리컬 기어의 새로운 성형방법과 상계해석에 관한 연구, 단조심포지움'91, 한국소성가공학회, pp. 40~51.
- [3] 김한봉, 진인태, 1999, 원형빌렛으로부터 나선형 사다리꼴 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구, 한국 소성 가공학회지 Vol. 8, No2, pp. 143~151.
- [4] 박대윤, 진인태, 2001, 상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 인볼루트 헬리컬 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한연구, 한국소성가공학회지 Vol.10, No.4, pp. 302~310.
- [5] D. Y. Yang, M.U. Kim, C.H. Lee, 1978, An Analysis for extrusion of helicals hapes from round billet, Int.J.Mech. Sci. 20, pp. 695~705.
- [6] D. Y. Yang, 1986, Analytical and Experimental Investigation Into Lubricated Three - Dimension Extrusion of General Helical Sections CIRP, Vol.15/1, pp. 169~172.
- [7] Toshihiro Imai, Manabu Kiuchi, Tsuyoshi Muramatsu, 1991, Analyses of Helical Shaped Extrusion1, Journal of the JSTP, Vol.32, No. 370, p. 1403.
- [8] 박승민, 진인태, 2004, 회전압출다이를 이용한 헬리컬 핀볼이 원형단면 압출가공에 관한 연구, 한국소성가공학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 31~34.