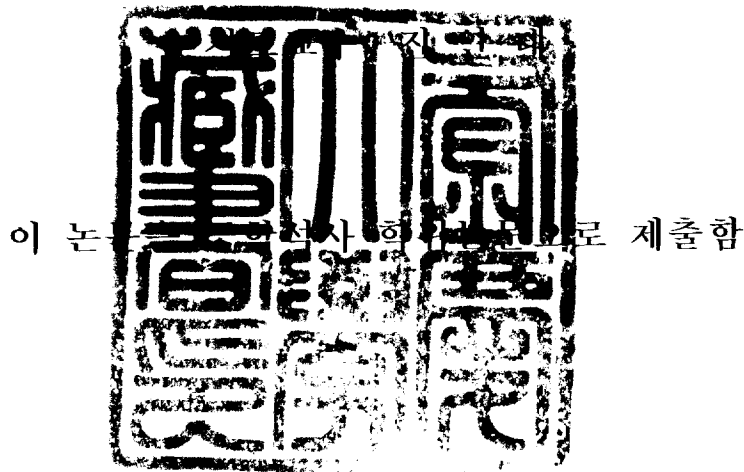


공학석사 학위논문

회전압출다이를 사용한 헬리컬 핀붙이
원형단면 제품의 압출가공에 관한 연구



2005년 2월

부경대학교 대학원

기계공학부

박 승 민

박승민의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월

주 심 공학박사

위 원 공학박사

위 원 공학박사

한 규 택

김 병 탁

진 인 태



목 차

| | |
|--|----|
| Abstract | 1 |
| 1. 서 론 | 2 |
| 2. 압출회전가공 원리 및 성형 해석 | 5 |
| 2.1 압출회전가공기 및 작동원리 | 5 |
| 2.2 회전압출다이 어셈블리 및 다이 구조 | 6 |
| 2.3 사각단면 헬리컬 핀블이 압출제품의 압출회전가공 성형해석 ... | 9 |
| 2.3.1 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용한 성형 형상 비교 및 고찰 | 9 |
| 2.3.2 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용했을 때 압출 하중 비교 및 고찰 | 14 |
| 2.3.3 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 결과 및 고찰 | 16 |
| 2.3.4 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 제품의 비틀림 각도 해석 및 고찰 | 18 |
| 2.3.5 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 다이의 최적 회전 속도 해석 및 고찰 | 20 |
| 2.4 원형단면 헬리컬 핀블이 압출제품의 압출회전가공 성형해석 ... | 24 |
| 2.4.1 변형 형상 해석 및 압출 하중 해석 결과 및 고찰 ... | 24 |
| 2.4.2 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용했을 때 압출 하중 비교 및 고찰 | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.4.3 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 및 고찰 | 30 |
| 2.4.4 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 제품의 비틀림 각도 해석 및 고찰 | 31 |
| 2.4.5 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 다이의 최적 회전 속도 해석 및 고찰 | 32 |
| | |
| 3. 원형단면 헬리컬 핀을 가진 압출다이를 이용한 실험 결과 및 고찰 | 33 |
| 3.1 압출회전가공 실험장치 | 33 |
| 3.2 회전압출다이 실험장치 | 37 |
| 3.3 압출다이 | 38 |
| 3.4 실험재료 | 40 |
| 3.5 고정된 압출다이를 사용한 압출제품의 단면형상 | 41 |
| 3.6 회전하는 압출다이를 사용한 압출제품의 단면형상 | 43 |
| 3.7 고정된 다이를 사용한 압출 제품 | 45 |
| 3.8 회전하는 압출다이를 사용한 압출 제품 | 46 |
| 3.9 고정된 다이와 회전하는 다이의 비교 | 47 |
| | |
| 4. 결론 | 48 |
| | |
| 참고 문헌 | 50 |

회전압출다이를 사용한 헬리컬 핀볼이 원형단면 제품의 압출가공에 관한 연구

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

Seung-Min Park

Department of Mechanical Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

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 billet.

It can be reduce extrusion load of product with a helical fins by rotating extrusion die and it is confirmed by forming analysis of product which have 8 fins and 4 fins. So, in this paper, according to the extrusion load analysis by DEFORMTM-3D software, optimal rotational velocity of rotated die can expect to be obtained the reduction area rate and the twisted angle of die. And then analysis by DEFORMTM-3D shows that the twisted angle of product can be controlled by twisted angle of extrusion helical die and the rotational velocity of helical die.

1. 서론

소성 가공의 압출 가공 방법은 소재를 밀폐용기 컨테이너(container)에 넣고 압출 스템(extrusion stem)으로 밀 때 다이 구멍에서 재료를 유출해 내면서 일정한 단면을 가진 제품을 길이 방향으로 길게 가공하는 대표적 소성 가공법의 하나이다. 그러나 대단히 높은 압력과 대형 기계의 설비를 필요로 한다는 결점을 가지고 있기 때문에 압출 가공을 통하여 헬리컬(helical) 치형을 가진 제품을 만들기 힘들다. 따라서 대부분의 경우 절삭가공을 통하여 헬리컬 치형을 가공하는 것이 일반적이다.

현재 사용하는 기어(gear)의 대부분은 인볼류트(involute) 치형을 채용하고 있으며 헬리컬 기어의 경우 인볼류트 곡선이 잇줄에 따라 일정한 각도로 비틀어져 있기 때문에 소성가공 중에는 고하중이 작용하거나 정밀한 치형의 금형이 필요해서 현재까지는 절삭 가공법을 이용하여 제작하고 있다. 절삭 가공법으로는 밀링, 세이핑, 또는 호빙 등의 방법이 있으며 절삭 가공으로 가공된 기어는 세이빙, 그라인딩, 또는 래핑 등의 방법으로 다듬어진다. 기어 호빙은 극히 생산성이 높고 또 높은 가공 정밀도가 얻어지므로 가장 일반적으로 채용되고 있는 기어 제작법으로 많은 기어가 한 번의 절삭으로 호브 가공이 마무리된다.

기어의 이를 제작하는 또 다른 방법으로는 주조법으로 샌드캐스팅(sand casting), 인젝션 몰딩(shell molding), 인베스트먼트 주조법(investment casting), 영구주조법(permanent mold casting), 다이 캐스팅(die casting) 및 원심 주조법(centrifugal casting)등 매우 많은 방법이 있다. 또한 분말 야금(power-metallurgy process)이나 압출(extrusion)등에 의해서도 만들어진다. 냉간 성형(cold forming)이나 냉간 전조법(cold rolling)등에 의해서도 기어의 이를 제작할 수 있다.

여기서 전조법은 2개의 롤러로 기어 재료를 압입하면서 고주파로 가열한

재료를 제 3의 롤러를 사용하여 가공하는 방법이다. 사용 공구에 따라 랙 (rack)형, 피니언(pinion)형, 내치차형으로 구분한다. 전조가공에서는 공구와 소재 간에 강한 마찰력이 작용하고, 그 때문에 발열 현상도 일어난다. 따라서 공구치수는 마찰력에 의한 공구 수명의 계산 및 발열에 의한 공구의 열팽창 계산에 근거하여 수정 값을 도입, 치수형상을 결정할 필요가 있으며 또 공구재료도 내마모성과 내열성이 우수하고, 열팽창 계수가 낮은 재료를 사용하여야 할 것으로서 특수공구강, 다이강 등의 공구용 특수강을 Hv600 전후로 열처리해서 사용하는 것이 일반적이다.

소성가공법을 사용한 헬리컬 기어의 제작을 위해 헬리컬 핀을 가진 압출봉을 가공한 후 절단하여 헬리컬 기어의 제작을 할 수 있다. 이와 관련된 연구를 보면 합금강의 냉간 압출에 의한 고정밀도 헬리컬 기어의 제조에 관한 연구¹⁾, 냉간 단조에 의한 헬리컬 기어의 새로운 성형방법과 상계해석에 관한 연구²⁾ 등이 있다.

상기의 연구는 헬리컬 치형을 가진 제품을 압출가공 할 때 고정된 다이를 사용한 반면에 본 연구에서는 압출 가공 중 컨테이너 내부에 삽입되어져 있는 빌렛(billet)이 스템에 의해서 압출되어질 때 압출 방향의 수직 방향으로 다이를 회전시켜 헬리컬 핀을 가진 원형 단면의 압출 하중을 줄이는 압출회전가공법에 대해 연구하고자 한다.

이렇게 압출가공과 회전가공을 동시에 할 수 있는 압출회전가공법에 대한 가공변수의 영향을 고려하기 위하여 선행 연구로서 비틀림 현상을 일으키는 주요 원인이 되는 금형의 비틀림 각도, 즉 헬리컬 금형을 입구에서부터 금형의 출구단면까지 금형 축을 중심으로 비틀어진 금형 형상에 의해서 제품의 비틀어짐을 3차원 비틀림 해석용 동적가용속도장을 제안하여 상계정리 (upper-bound theorem)로 해석한 바 있다.^{3),4)}

또한 고정된 헬리컬 다이를 사용한 해석으로 Yang^{5),6)} 등 및 kiuchi⁷⁾ 등에 의해 연구된 바 있으나 상기의 연구는 고정된 압출다이를 사용함으로써 헬리

컬 치형을 만들 때 치형을 성형하는 하중과 소재를 회전시키는 하중을 동시에 받기 때문에 압출다이의 표면에 과도한 하중이 걸리게 되는 단점을 가지고 있다.

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 상기의 비틀어진 원추형 압출다이를 압출 중에 회전시킴으로써 소재를 비틀지 않으면서 소재의 표면상에 헬리컬 치형을 가공할 수 있게 된다. 이와 같이 다이를 회전시키는 압출 가공에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션(simulation) 해석을 통하여 소재의 비틀림 없이 헬리컬 치형 단면 제품을 압출하는 것이 가능한 지를 확인하기 위하여 DEFORM™-3D 소프트웨어를 사용하였는데, 이것은 생산현장에서 실제적인 설계도구로 사용할 수 있는 편리하고 신뢰성 있는 유한요소(FEM) 해석 프로그램이다.

DEFORM™-3D를 이용한 공정 해석은 십 여 년 동안 선진기업에서 개발기간, 비용, 품질의 개선에 크게 도움이 되어 왔으며, 광범위한 연구와 산업적용에서 효율성이 입증되어 왔다. 본 연구에서도 DEFORM™-3D를 이용하여 최소의 시간과 노력으로 최적의 공정설계와 금형설계에 이용하고자 하였다.

DEFORM™-3D를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 해석을 통하여 비틀어진 다이를 사용하더라도 소재가 비틀어지지 않으면서 헬리컬 핀을 성형하여 다이의 내마모성을 높일 수 있는지 그리고 압출 하중을 최소화 할 수 있는 최적의 압출다이의 구조설계와 최적의 회전속도를 구할 수 있는지 확인하고자 한다.

이에 대하여 소성 가공용 모사 실험 소재인 플라스틱인(plasticine)을 사용한 실험을 통해 압출 중에 압출 다이를 회전시키더라도 소재가 회전되지 않고 헬리컬 핀이 성형 될 수 있음을 알고자 한다.

2. 회전압출가공 원리 및 성형 해석

2.1 회전압출가공기 및 작동원리

Fig.1은 실제 압출회전가공기의 개략적인 그림이다. 일반적인 압출기의 컨테이너 전면부에 부착된 피니언 기어와 연결되어 있는 원추형 회전압출다이가 컨테이너 내부에 삽입되어 있으며 다이와 컨테이너는 홀더에 삽입되어 다이가 홀더내부에서 회전하도록 되어있다.

압출 가공 중 스템에 의해서 컨테이너 내부에 삽입되어져 있는 빌렛이 다이를 통과하면서 압출이 이루어지는데 이 때 헬리컬 다이에 의해서 소재가 회전하게 되는데 소재의 회전 방향과 반대 방향으로 피니언 기어를 회전시켜 줌으로서 소재가 회전을 하지 않으면서 비틀어진 헬리컬 치형을 가공하게 된다. 압출방향의 직각방향으로 피니언 기어와 맞물려 있는 랙 기어에 의해서 다이가 회전하기 위해서 압출회전가공기는 메인 유압실린더와 스템 진행 방향의 직각 방향에 또 하나의 유압실린더가 부착되어 있는 것이 특징이다.

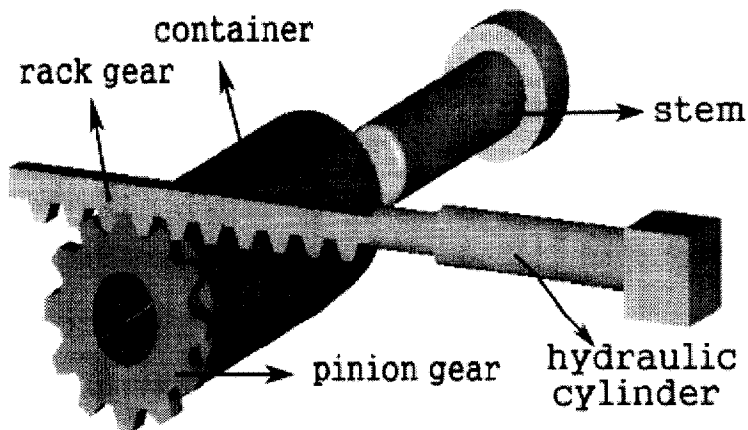


Fig. 1 Extrusion process using rotated die

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.

그리고 이 회전압출다이의 작동원리는 컨테이너 입구로부터 빌렛이 유입되어져 압출다이의 표면에 성형되어져 있는 헬리컬 경사 표면을 통해 압출되어 질 때 다이의 비틀림 방향의 반대방향으로 다이를 회전시켜 소재가 회전하지 않게 하여 하중을 줄이게 하는 원리로 되어있다.

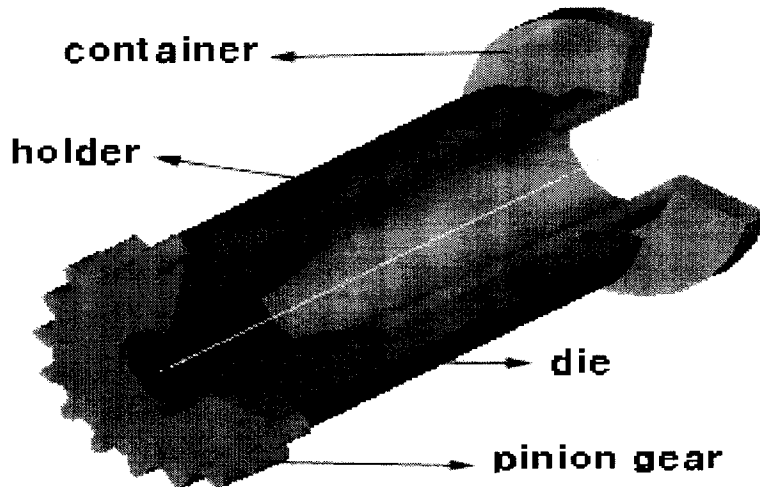


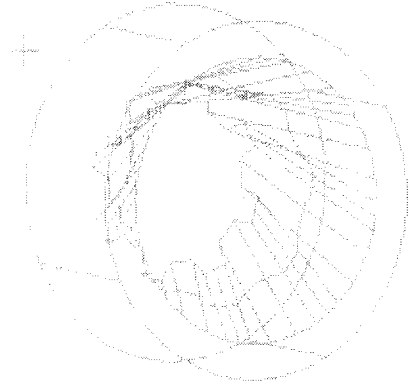
Fig. 2 Rotating extrusion die assembly

Fig.3은 해석에서 사용된 헬리컬 회전압출다이로서 Fig.3(a)는 압출다이의 솔리드 모델링이며 Fig.3(b)는 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 있어야만 한다는 것이 이 회전압출다이의 특징이다.

이 다이는 실험에 앞서 DEFORM™-3D를 이용한 성형해석을 위해 설계되어진 것으로 8개의 사각단면 형상의 핀을 가지고 있으며 다이 내부의 비틀림 각도는 10° , 20° , 30° 을 가지고 있다.



(a) Solid model

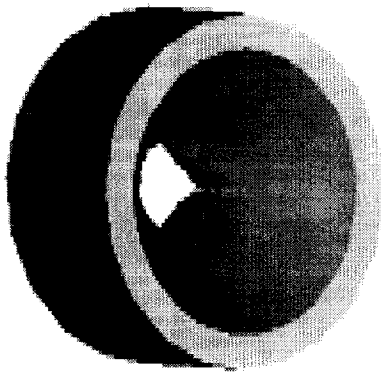


(b) Wire frame model

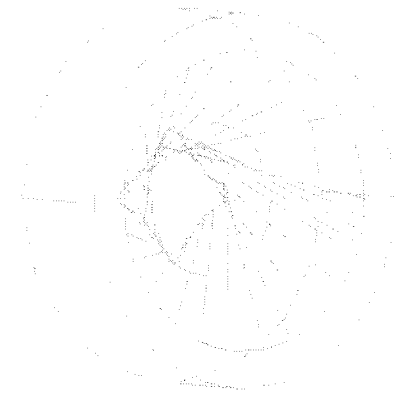
Fig. 3 Twisted extrusion die with 8fins

Fig. 4는 성형해석과 실험에서 사용된 원형 단면 핀블이 회전압출다이로서 Fig. 4(a)는 압출다이를 가공하기 위하여 모델링 한 것이며, Fig. 4(b)는 그 내부형상의 와이어 프레임(wire frame)형상이다. 실험에 앞서 Fig. 4와 같이 I-DEAS를 이용하여 설계/모델링 되었고 DEFORMTM-3D를 이용한 성형 해석한 그 결과를 바탕으로 소성 가공용 모사 실험 소재를 사용하여 실제 실험을 해 보았다.

이 실험에 사용된 다이는 원형 단면에 4개의 핀을 가지고 있고 출구 단면은 전체적으로 사각 단면의 형상을 가지고 있다. 이 다이도 앞선 Fig. 3과 같은 원리로 설계/모델링 되어졌으며 가공방법이 어려워 급속 조형기(RP)를 이용하여 실제 실험용 다이를 가공하였다.



(a) Solid model



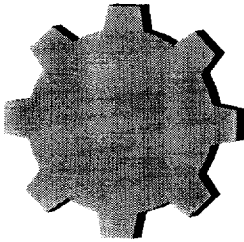
(b) Wire frame model

Fig. 4 Twisted extrusion die with 4fins

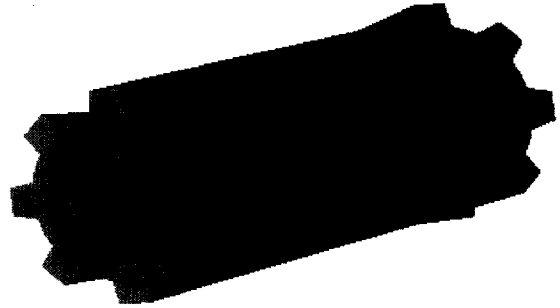
2.3 사각단면 헬리컬 핀볼이 압출제품의 압출회전 가공 성형해석

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

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



(a) Section of product



(b) Shape of product

Fig. 5 Section and shape of extruded product

Fig.6은 DEFORMTM-3D에 의한 해석 결과로서 회전압출다이와 회전압출 되어져 나온 헬리컬형 제품의 비틀어진 변형 형상이다. 이 때의 소재로는 알루미늄 1100을 사용하였으며 50000개의 메쉬로 모델링하여 0.05in/sec의 압출속도로 해석하였다. 압출다이의 회전에 의하여 사용되는 소재는 회전하지 않고 제품의 헬리컬 치형 부분만 성형 되어진 모양이다.

다음 그림은 다이를 회전하지 않는 경우와 다이를 회전시키면서 압출할 때 본 그림으로서 각 스텝마다 단면을 보면 다이를 회전하지 않는 Fig.7의 경우는 압출이 진행되는 동안에 소재가 회전하면서 압출되고 있는 것을 보여주는 반면에 Fig.8의 경우처럼 다이를 회전시켰을 때 압출이 진행되는 동안 소재가 회전하지 않으면서 비틀어진 헬리컬 핀이 압출되어져 나오는 것을 각 단계의 단면들로서 알 수 있다.

이것으로 다이를 회전시켰을 경우에는 소재를 회전시키는 하중이 작용되지 않으므로 다이의 표면에 작용하는 압력을 줄 일 수 있게 된다.

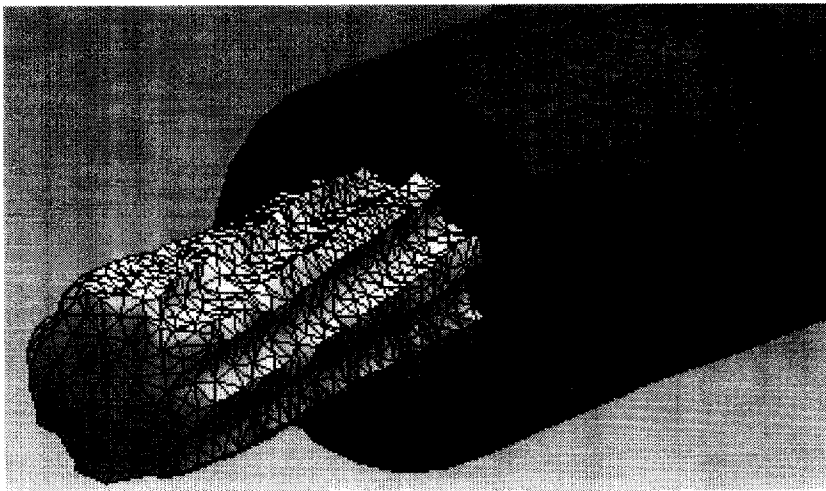
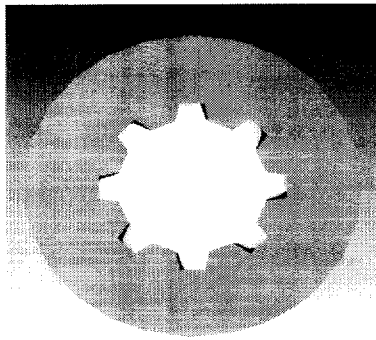


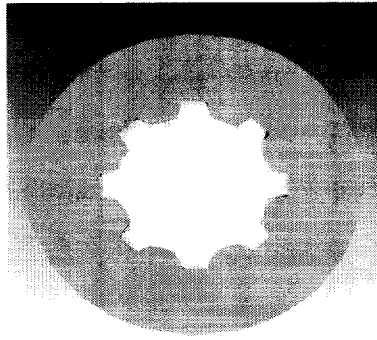
Fig. 6 Simulation result of extrusion process using rotated die

Fig.7은 일반 고정된 압출다이를 사용하였을 때 압출 가공 과정을 정면에서 본 그림이다. 처음부터 소재가 비틀어진 다이에 의해서 서서히 회전하면서 다이 출구쪽으로 나오면서, 즉 스텝이 진행 될수록 비틀어진 형상이 가공됨과 동시에 소재가 회전하는 것을 알 수 있다. 이 때 다이의 경사표면을 따라 핀을 성형하려는 하중과 소재가 회전하려는 하중이 동시에 걸리기 때문에 높은 압출 하중이 필요하다.

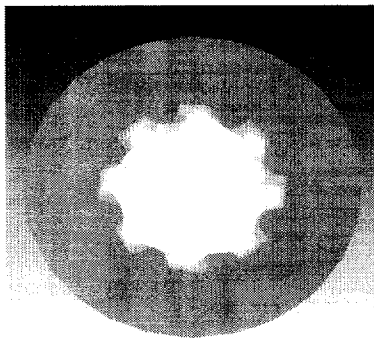
하지만 Fig.8과 같이 소재가 회전되어지는 반대 방향으로 다이를 회전시킴으로서 스텝이 진행함에도 불구하고 소재는 회전하지 않으면서 비틀어진 제품의 형상을 가공한다는 것을 알 수 있었다. 또한 같은 스텝이 진행되었을 때 회전하는 압출다이를 사용하였을 때 압출되어져 나온 제품의 길이도 더 많다는 것을 알 수 있었다.



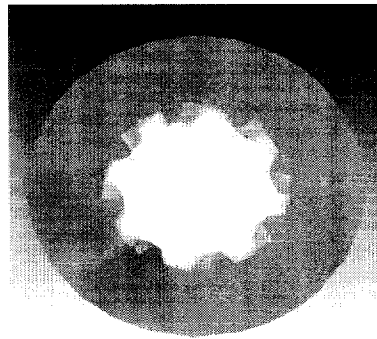
(a) 1 step



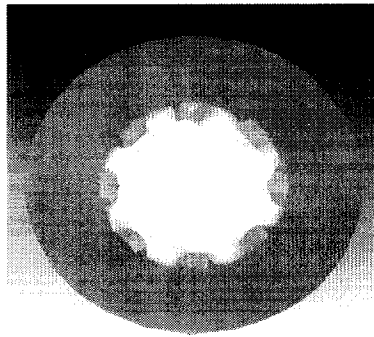
(b) 2 step



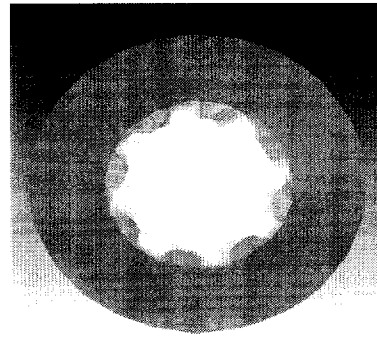
(c) 3 step



(d) 4 step

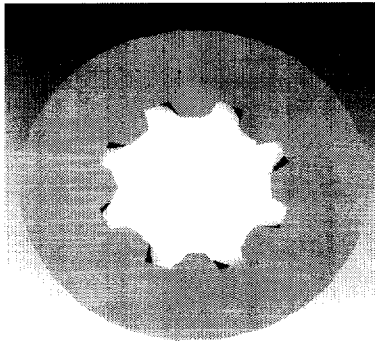


(e) 5 step

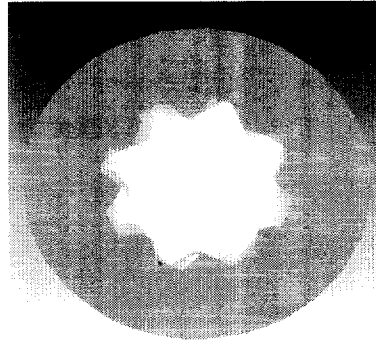


(f) 6 step

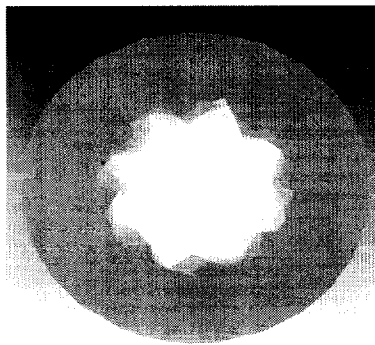
Fig. 7 Front view of extrusion process using fixed die with 8fins



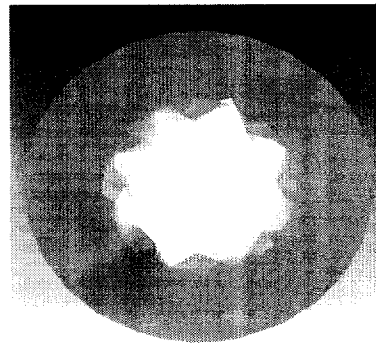
(a) 1 step



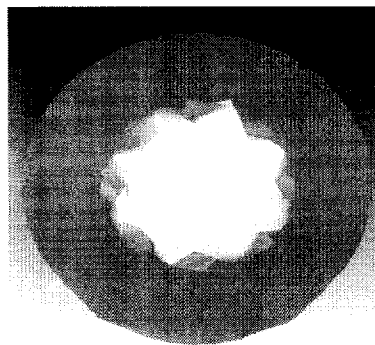
(b) 2 step



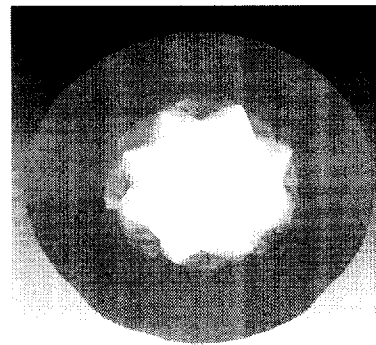
(c) 3 step



(d) 4 step



(e) 5 step



(f) 6 step

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

2.3.2 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용했을 때 압출 하중 비교 및 고찰

Fig.9는 고정된 다이를 사용한 경우에 압출 하중이 141.45kN로 나타났으며 Fig.10에서는 회전다이를 사용한 경우에 압출 하중이 120.99kN로 회전하는 다이를 사용한 경우에 압출 하중이 작게 나타남을 알 수 있다. 이것은 압출 가공 중 소재가 비틀어지면서 다이의 표면에 성형되어져 있는 경사면을 따라 핀을 성형하려는데 필요한 하중만큼 감소한 것을 알 수 있다.

이와 같이 회전하는 다이를 사용하는 경우에는 압출 하중이 작게 나타남으로서 헬리컬 금형의 치형에 과도한 압출 하중을 줄 일 수 있게 되어 금형의 내구도 및 성형한계를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

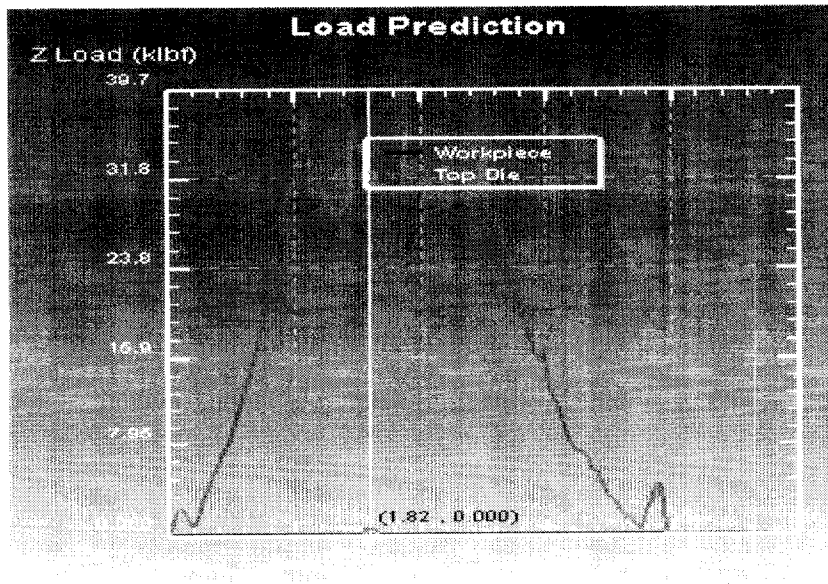


Fig. 9 Relation of the extrusion load and stroke using fixed die

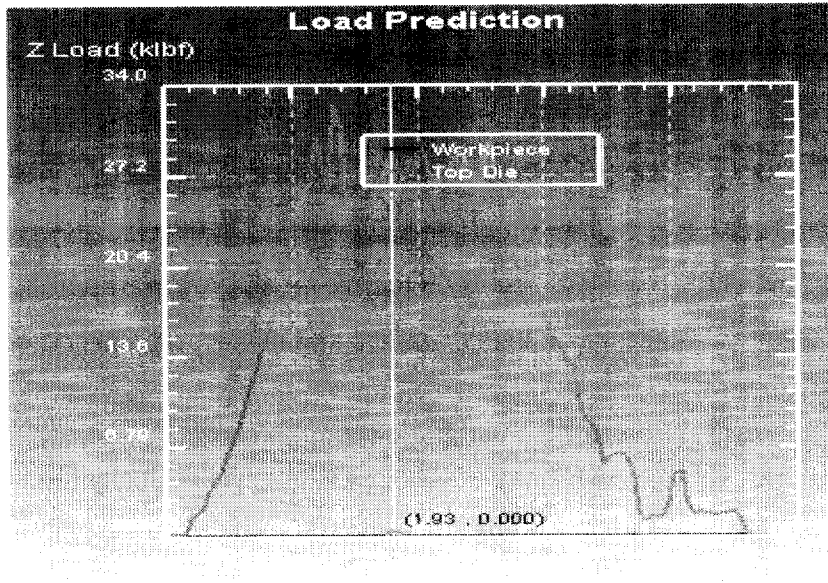
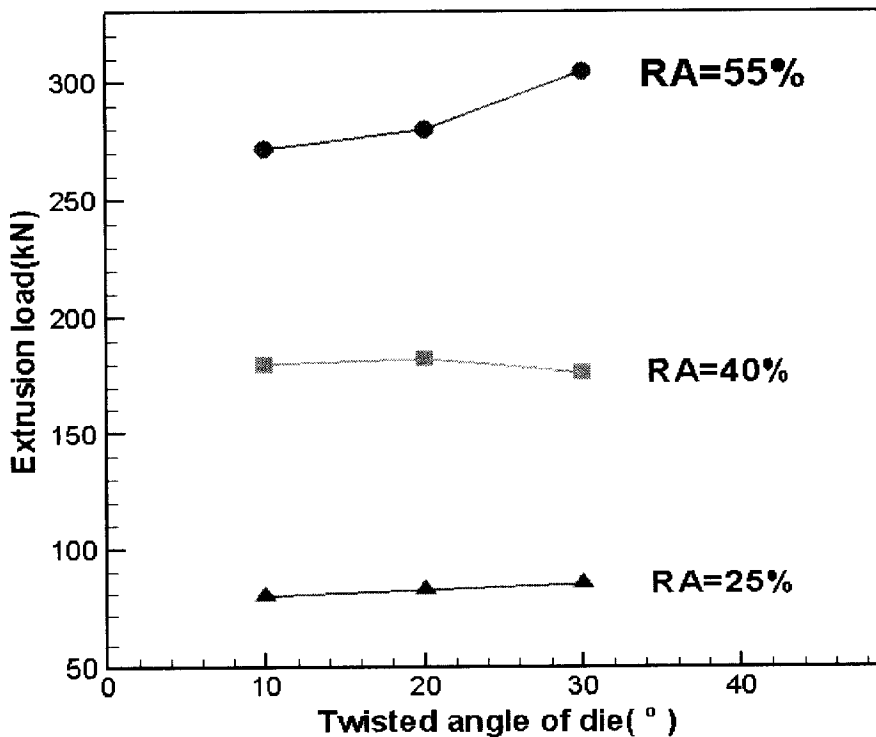


Fig. 10 Relation of the extrusion load and stroke using rotated die

2.3.3 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 및 고찰

Fig.11(a)와 (b)는 고정된 다이와 회전하는 다이에 대하여 DEFORM™-3D를 이용하여 서로 다른 단면 감소율과 다이 비틀림 각을 가질 때 압출다이의 압출 하중을 해석한 결과이다.

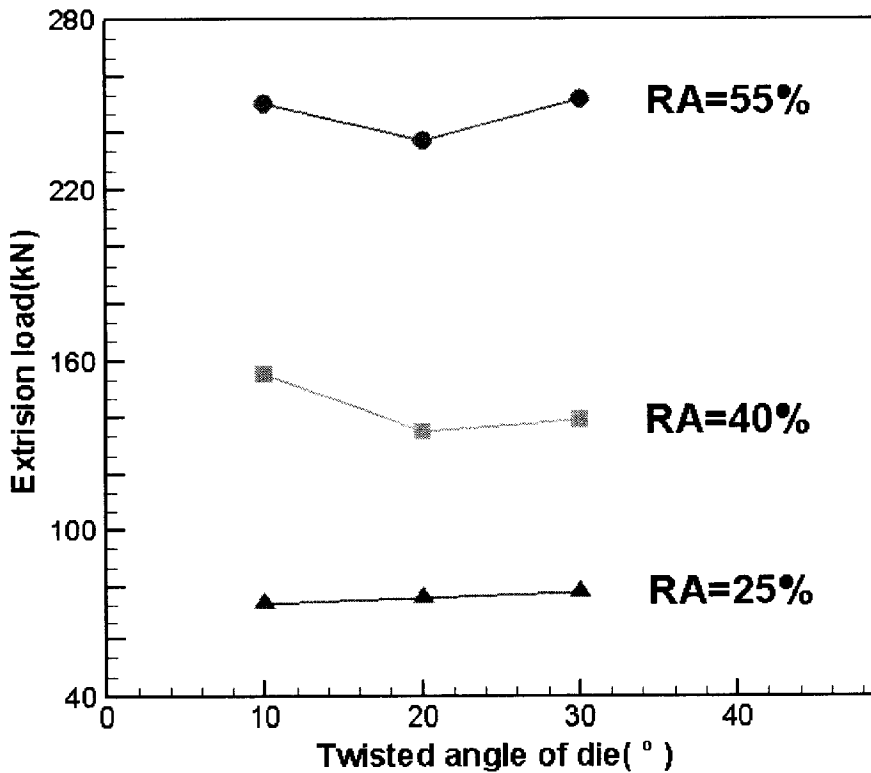
다이를 제품의 비틀어진 방향과 반대로 회전시킬 때의 압출 하중이 다이를 고정시킬 때보다 압출 하중이 작게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 Fig.11(a)에서 다이를 회전시키지 않는 경우에는 비틀어진 각도가 크면 클수록 압출 하중이 대체로 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a) Extrusion load using fixed die

Fig.11(b)에서와 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. 이것으로 보아 비틀어진 다이 각도와 관계없이 회전하는 경우는 평다이와 같은 경우의 압출 가공이 가능함을 알 수 있다.

이 때 다이의 회전속도는 비틀어진 각도에 따라 제품이 비틀어지지 않도록 하는 최적의 속도로 회전 할 때의 압출 하중이다.

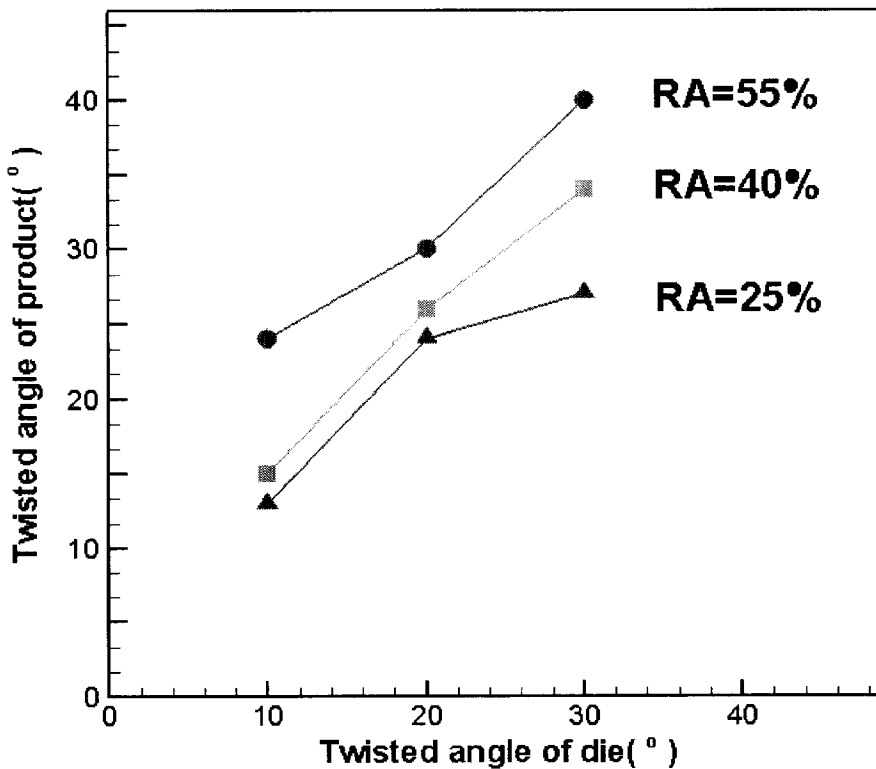


(b) Extrusion load using rotated die

Fig.11 Relation of extrusion load and twisted angle of die

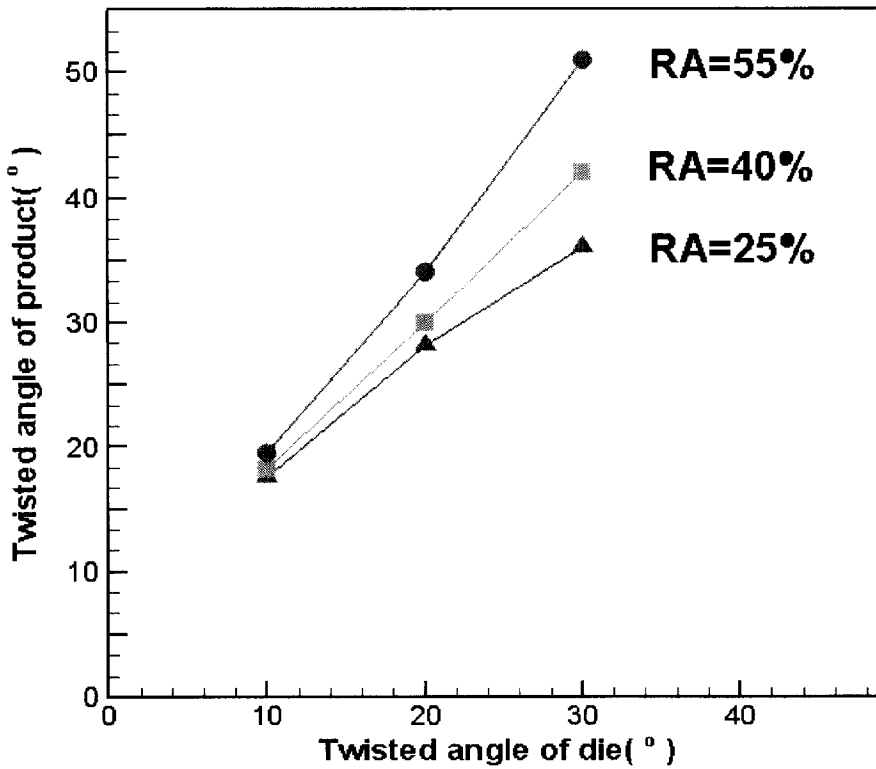
2.3.4 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 제품의 비틀림 각도 해석 결과 및 고찰

Fig.12(a)와(b)는 고정된 다이와 회전하는 다이를 DEFORMTM-3D를 이용하여 서로 다른 단면감소율과 다이 비틀림 각도를 가질 때의 제품의 비틀림 해석 결과이다. 이 그래프를 통하여 다이의 단면감소율이 일정할 때 다이의 비틀림 각도가 클수록 압출되어진 제품의 비틀림이 더 커진다는 것을 알 수 있다.



(a) Twisted angle of product using fixed die

Fig.12(b)는 동일한 다이 비틀림 각도와 단면 감소율을 가질 때 다이를 소재가 회전하는 반대방향으로 회전하면서 압출 가공 한 경우에 제품의 비틀림 각도로 Fig.12(a)의 고정된 다이를 사용했을 때 보다 압출 되어져 나온 제품이 더 많이 비틀어졌음을 알 수 있다.



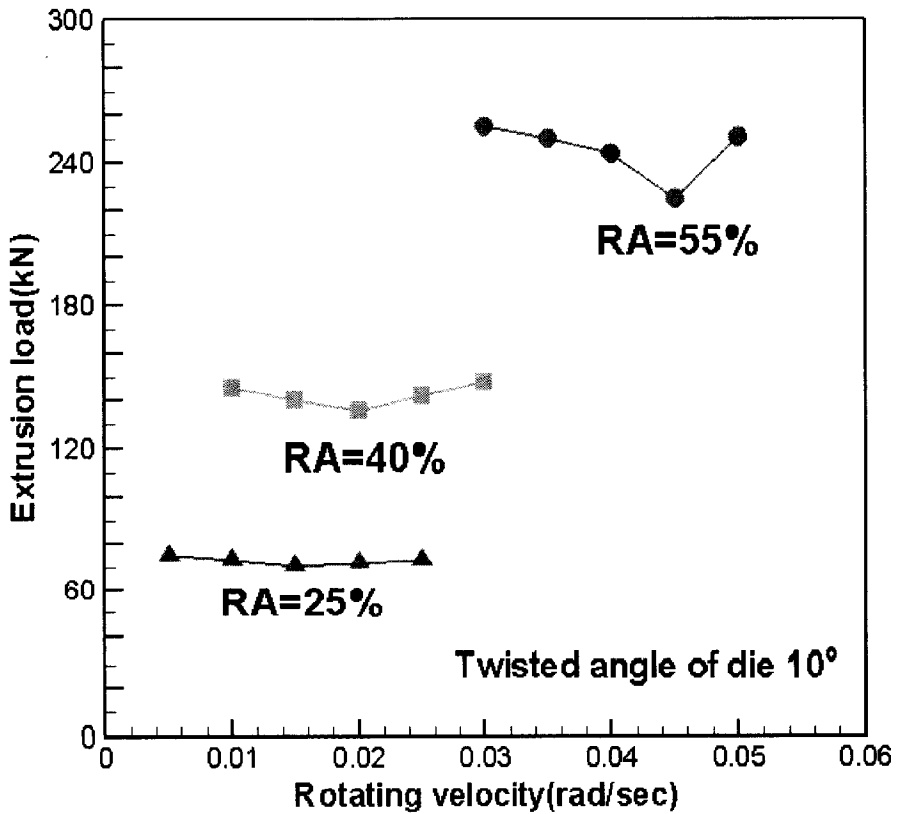
(b) Twisted angle of product using rotated die

Fig.12 Relation of twisted angle of product and die

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

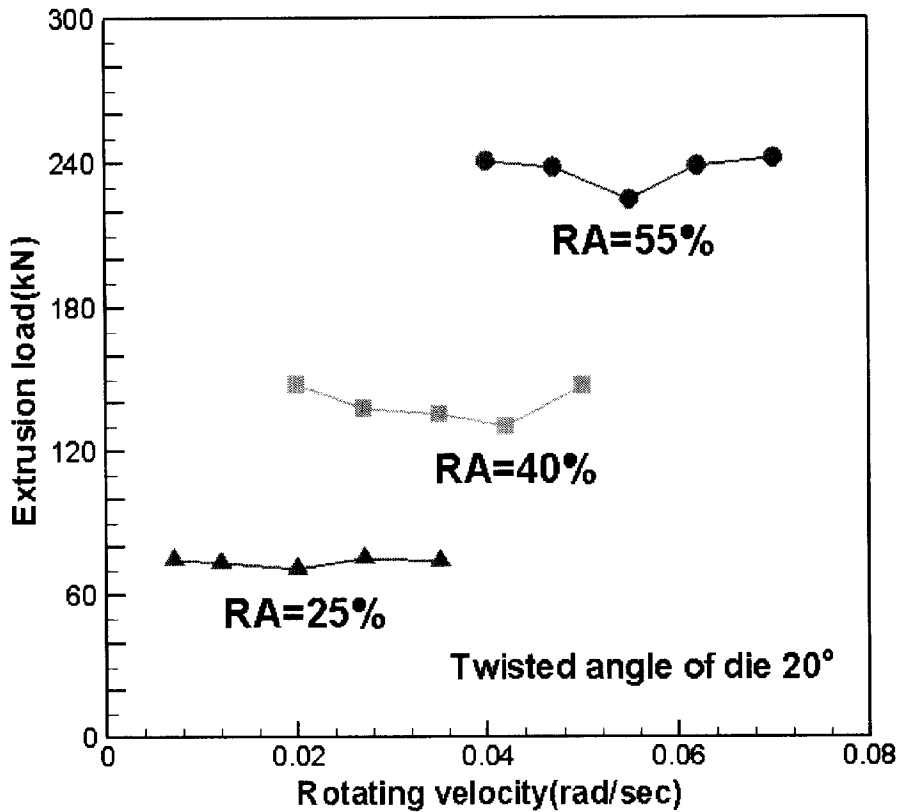
Fig.13(a)는 다이의 비틀림 각도가 10° 일 때 각각의 단면 감소율에 대해서 압출 가공 중 압출 하중을 최소한으로 줄일 수 있는 최적의 다이 회전속도를 찾은 그래프이다.

그림과 같이 최적의 다이 회전속도보다 느리거나 또는 빠르게 다이를 회전시켰을 경우에는 최소의 압출 하중보다 크게 나타나기 때문에 최적의 다이 회전속도는 압출 하중이 가장 작을 때를 찾아냄으로서 알 수 있다.



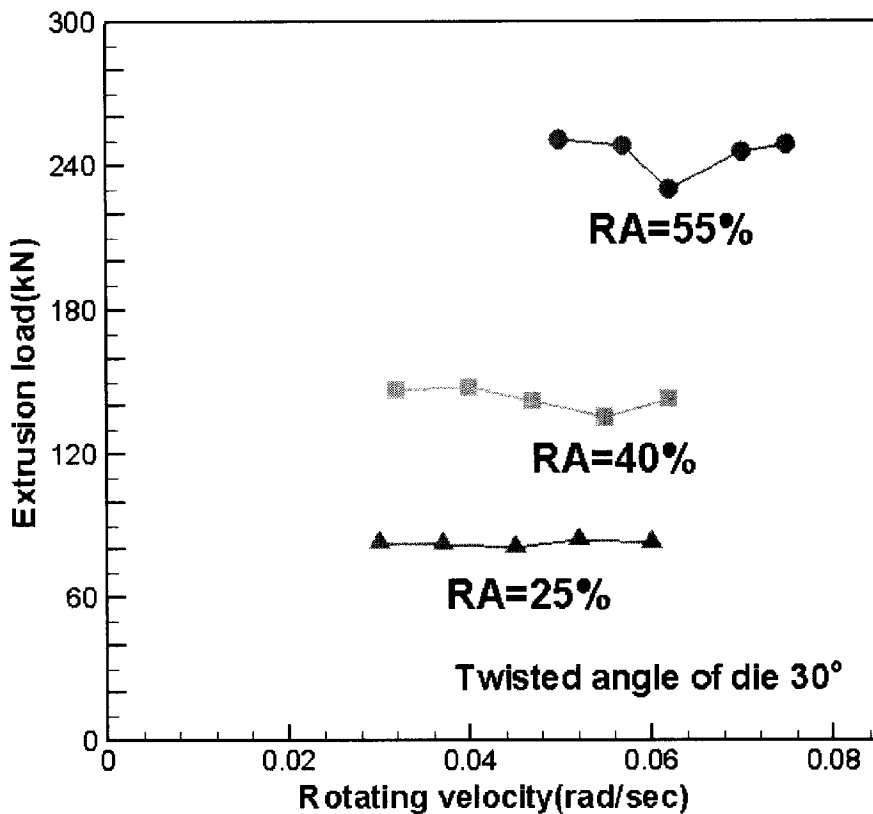
(a) Extrusion load using rotated die 10°

Fig.13(b)는 다이의 비틀림 각도가 20°일 때 각각의 단면 감소율에 대해서 압출 가공 중 압출 하중을 최소한으로 줄일 수 있는 최적의 다이 회전속도를 찾은 그래프이다. 최적의 다이 회전속도를 찾는 방법은 Fig.13(a)와 같다. 여기서 Fig.13(b)의 각각의 단면 감소율에 따른 최적의 다이 회전속도가 Fig.13(a)보다 다이의 비틀림 각이 더 크기 때문에 전체적으로 빠르다는 것을 알 수 있다.



(b) Extrusion load using rotated die 20°

Fig. 13은 회전압출다이를 사용하였을 때 각각의 다이 비틀림 각도에 따라 압출 하중을 최소화 할 수 있는 최적의 다이 회전속도를 나타낸 것이다. Fig.13에서와 같이 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 있었다.



(c) Extrusion load using rotated die 30°

Fig.13 Result of rotating velocity by DEFORM™-3D

Fig.14는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 최적의 다이 회전 속도를 나타낸 것으로 위의 Fig.13의 (a), (b), (c)에서처럼 성형 해석 시 여러 가지의 회전속도를 임의로 데이터 값으로 입력하고 해석한 뒤 압출 하중이 가장 작게 나타나는 속도를 찾아내어서 그 회전 속도 값을 단면 감소율에 따라 그 래프로 나타낸 것이다. Fig.14의 결과로 다이의 비틀어진 각도가 크고 단면 감소율이 클수록 최적의 다이 회전 속도도 더 빨라진다는 것을 알 수 있다.

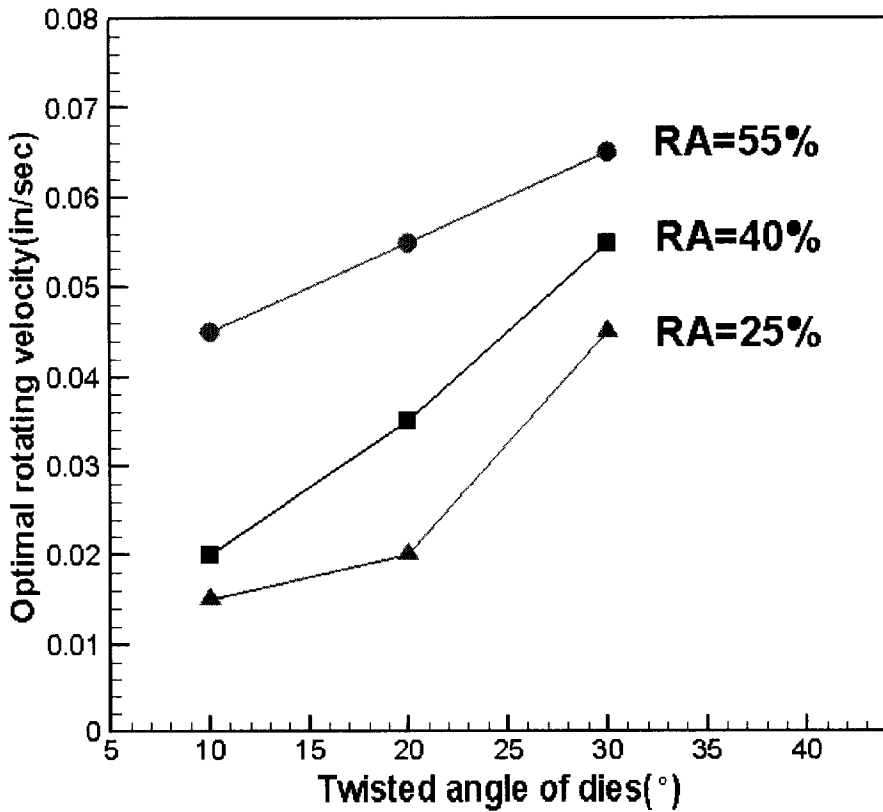
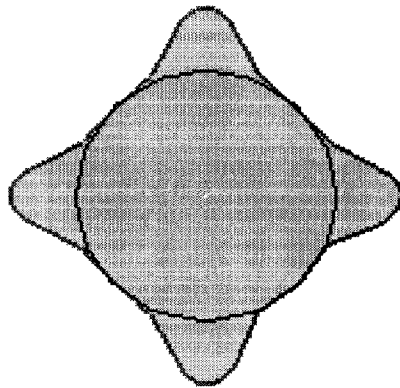


Fig.14 Result of optimal rotating velocity

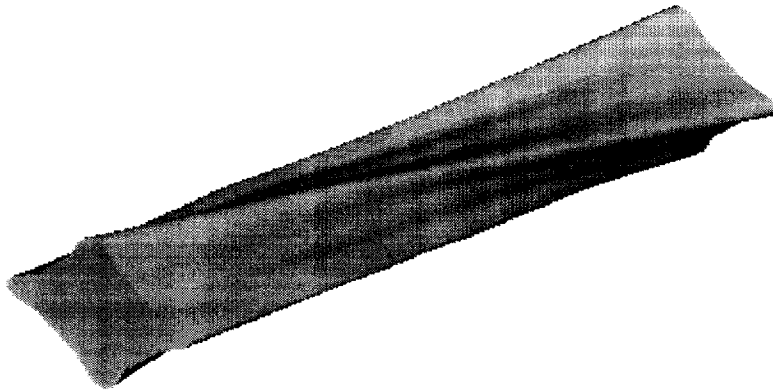
2.4 원형단면 헬리컬 핀붙이 압출제품의 압출회전 가공 성형해석

2.4.1 변형형상 해석 및 압출 하중 해석 결과 및 고찰

Fig.15는 원형단면 헬리컬 핀붙이 압출제품의 단면 형상과 압출되어진 제품의 형상을 모델링 한 것으로 원형단면에 4개의 핀을 가지고 있으며 제품 전체적인 단면 형상은 사각단면 형상을 가지고 있다.



(a) Section of product



(b) Shape of product

Fig.15 Section and shape of extruded product

Fig.16은 원형단면 헬리컬 핀붙이 압출제품에 대해서 회전압출다이를 사용한 압출회전가공 성형해석 결과 그림으로서 사용되어진 메쉬수가 적어 치형의 구분이 다소 곤란하나 제품의 비틀어진 변형 형상을 보여 주고 있다. 이때의 소재로도 알루미늄 1100을 사용하였으며 25000개의 메쉬로 모델링하여 0.05in/sec의 압출 속도로 해석하였다.

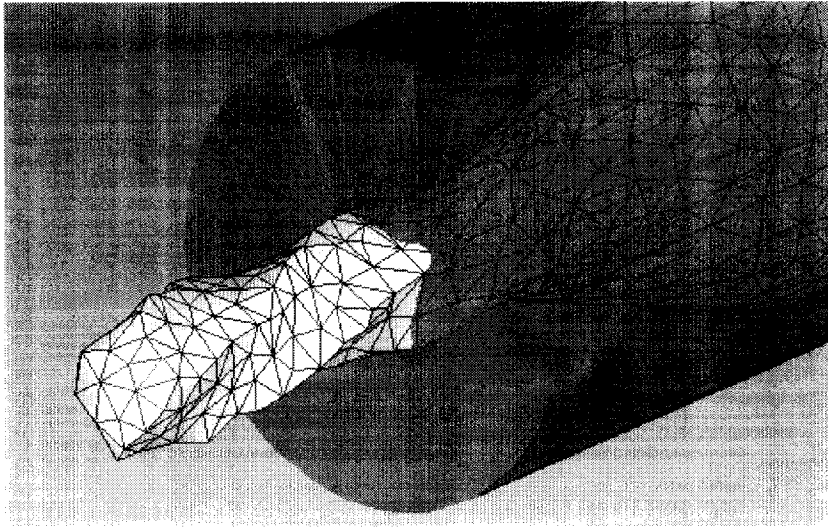
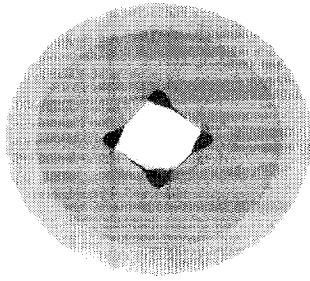


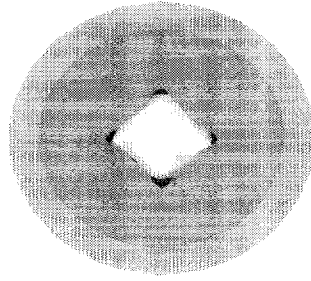
Fig.16 Simulation result of extrusion process using rotated die

Fig.17은 일반 고정된 압출다이를 사용하였을 때 압출 가공 과정을 정면에서 본 그림이다. 처음부터 소재가 비틀어진 다이에 의해서 서서히 회전하면서 다이 출구쪽으로 나오면서 즉 스텝이 진행 될수록 비틀어진 형상이 가공됨과 동시에 소재가 회전하는 것을 알 수 있다.

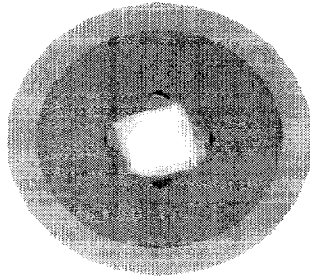
이 원형단면 제품은 앞선 Fig.7,8에 비해서 훨씬 많이 회전하는 것처럼 보이는 것은 단면 감소율이 더 크기 때문이다. Fig.18도 Fig.8과 같이 소재가 회전되어지는 반대 방향으로 다이를 회전시킴으로서 스텝이 진행함에도 불구하고 소재는 회전하지 않으면서 비틀어진 제품의 형상을 가공한다는 것을 알 수 있었다.



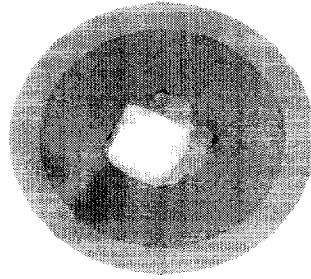
(a) 1 step



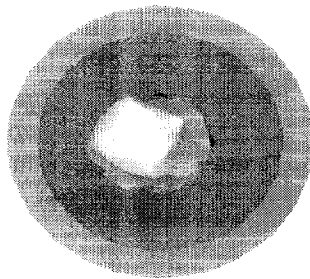
(b) 2 step



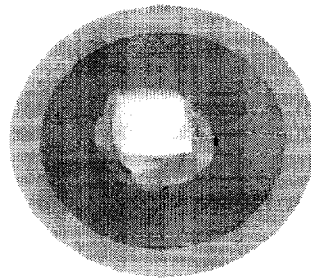
(c) 3 step



(d) 4 step

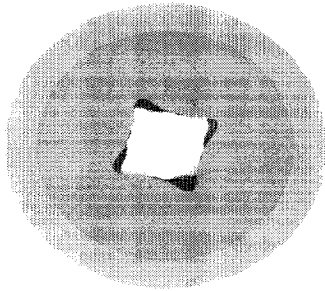


(e) 5 step

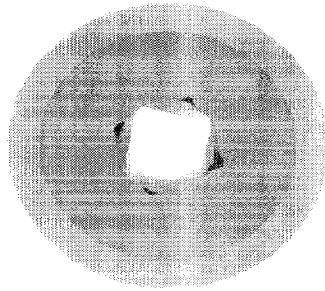


(f) 6 step

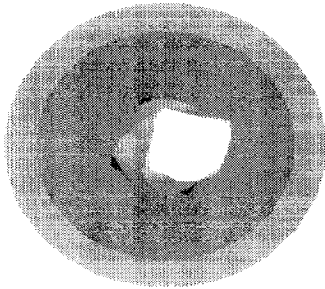
Fig.17 Front view of extrusion process using fixed die with 4fins



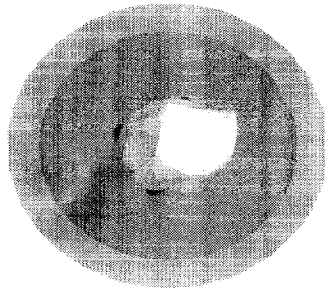
(a) 1 step



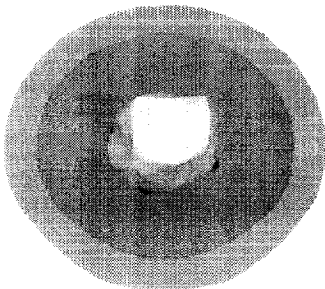
(b) 2 step



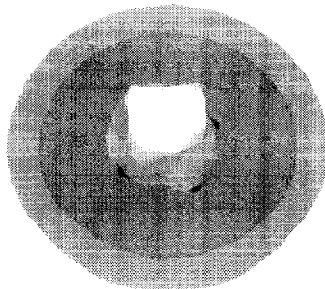
(c) 3 step



(d) 4 step



(e) 5 step



(f) 6 step

Fig.18 Front view of extrusion process using rotated die with 4fins

2.4.2 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용했을 때 압출 하중 비교 및 고찰

Fig. 19, 20은 실제 실험에 사용되어진 회전압출 다이를 이용하여 해석한 결과로서 Fig. 19는 고정된 다이를 사용한 경우에 압출 하중을 나타내고 있으며 Fig. 20에서는 회전하는 다이를 사용한 경우에 압출 하중으로 회전하는 다이를 사용한 경우에 압출 하중이 작게 나타남을 알 수 있다.

위와 같은 성형해석 결과로 이 회전압출다이를 사용하였을 때 더 작은 압출 하중으로 더 많이 비틀어진 압출 제품을 가공할 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

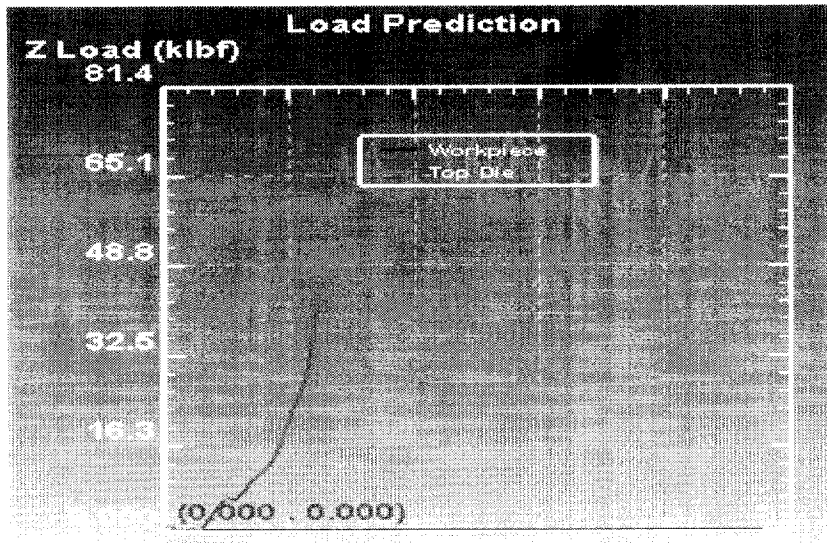


Fig.19 Relation of the extrusion load and stroke using fixed die

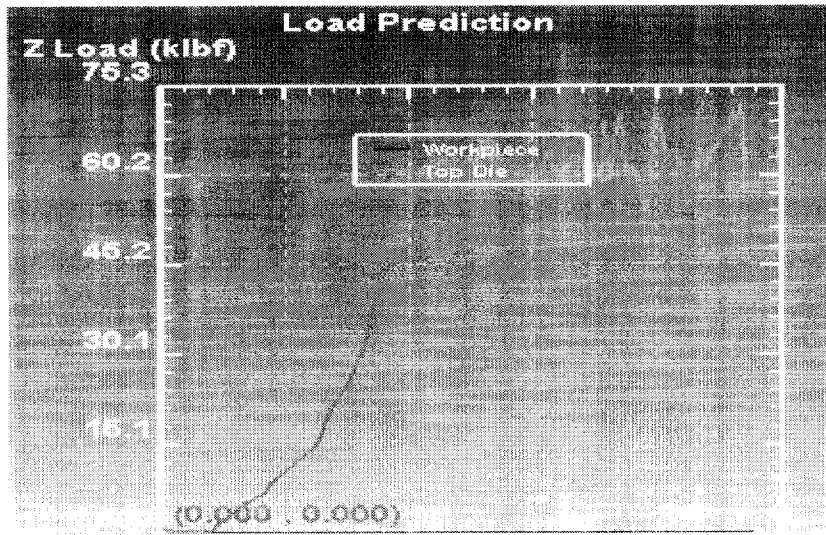


Fig.20 Relation of the extrusion load and stroke using rotated die

2.4.3 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 압출 하중 해석 및 고찰

Fig. 21은 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 대한 압출 하중을 나타내는데 다이를 고정시켰을 때의 압출 하중이 압출 가공 중 압출 다이에 소재가 회전하려는 하중과 소재의 표면에 핀을 성형하려는 하중이 동시에 작용하게 되어 다이를 소재가 회전하려는 반대방향으로 회전시키면서 압출 가공 하였을 때의 압출 하중 보다 크게 나타났다.

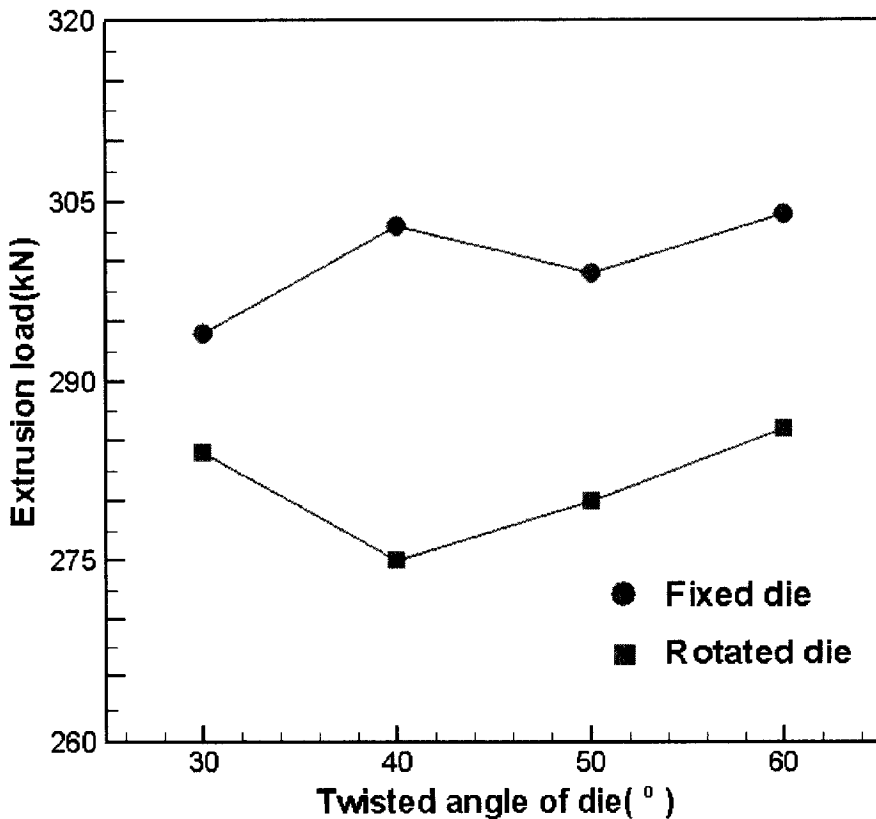


Fig. 21 Comparison of extrusion load

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

Fig. 22는 고정된 다이와 회전하는 헬리컬 다이를 사용하여 압출 되어진 제품의 비틀림을 비교한 것으로 다이를 회전시켰을 때의 제품이 똑같은 가공 조건 즉 같은 단면감소율과 다이의 비틀림 각도에서 보다 작은 압출 하중을 가지고 더 많이 비틀어졌다는 것을 알 수 있다.

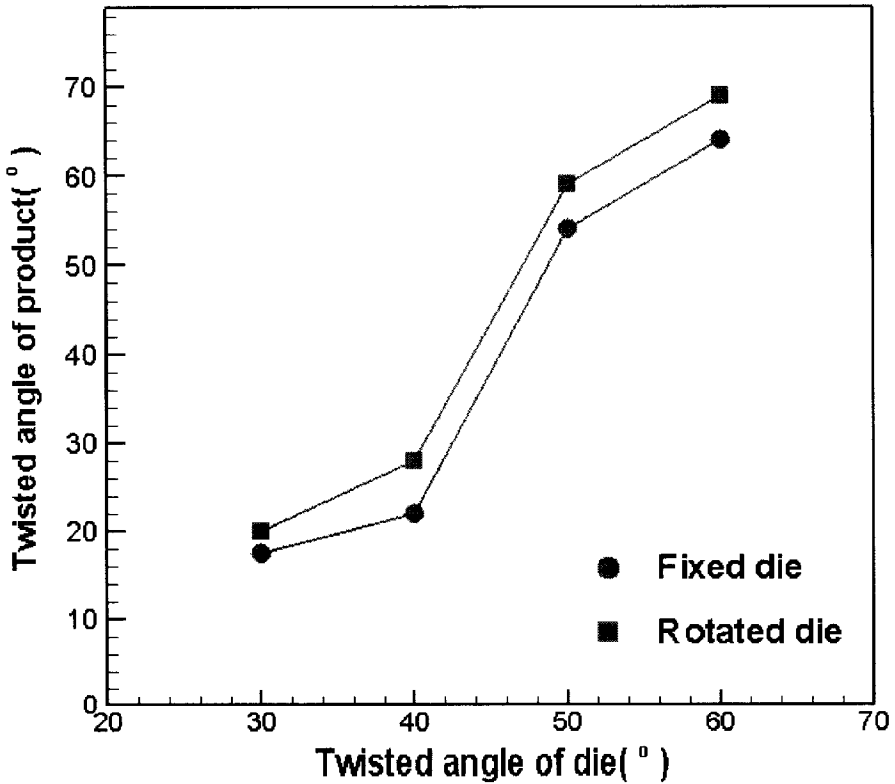


Fig.22 Comparison of twisted angle of product

2.4.5 헬리컬 다이의 비틀어진 각도에 따른 다이의 최적의 회전 속도 해석 및 고찰

Fig. 23은 각각의 다이 비틀어진 각도에 대한 최적의 다이 회전 속도를 나타낸 것으로 다이의 비틀어진 각도가 클수록 다이 회전 속도 또한 빨라진다는 것을 알 수 있다. 이렇게 최적의 회전 속도를 구하여 압출 하중을 최소한으로 줄임으로서 다양한 조건에서의 최적의 압출 가공 조건을 구현할 수 있다.

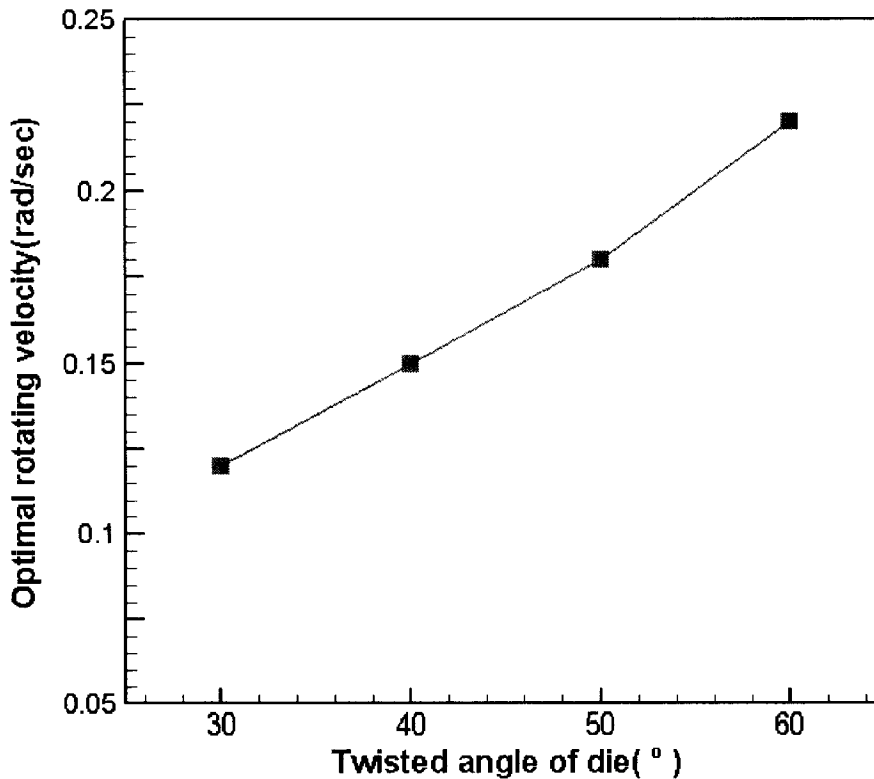


Fig. 23 Optimal rotating velocity

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

3.1 압출회전가공 실험장치

Fig. 24는 압출회전가공기로서 한 개의 메인 유압실린더와 직각 방향으로 놓여있는 한 개의 다이 회전 장치 실린더로 구성되어 있는 복동식 압출가공기이다.

한 개의 메인 유압 실린더에 부착되어 있는 압출 스템(extrusion stem)이 전진할 때 직각방향으로 놓여있는 다이 회전 장치의 유압실린더에 부착되어 있는 랙 기어(rack gear)에 맞물려 있는 피니언 기어(pinion gear)에 의해서 다이 홀더 내부에 있는 다이가 회전하도록 하여 압출 가공 중에 다이가 회전하도록 되어 있는 압출회전가공기를 나타낸다. 이 때 회전장치의 유압실린더의 유량을 조절하여 다이의 회전속도를 조정하도록 되어있다.

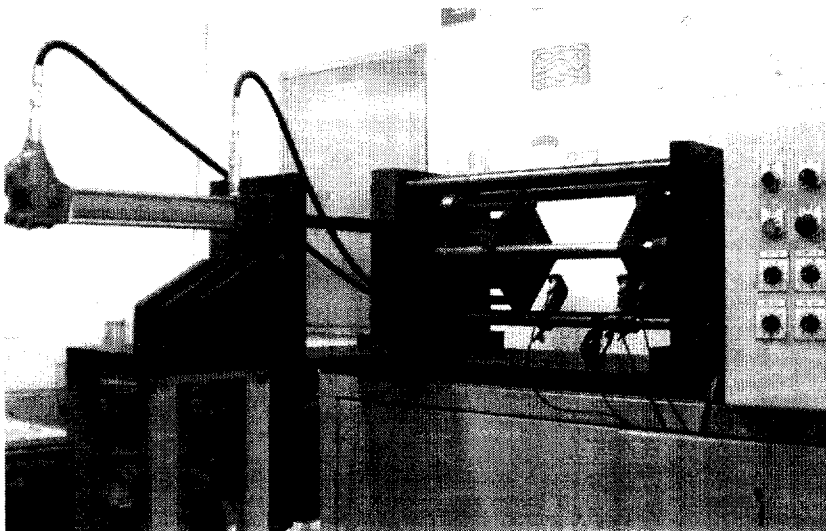
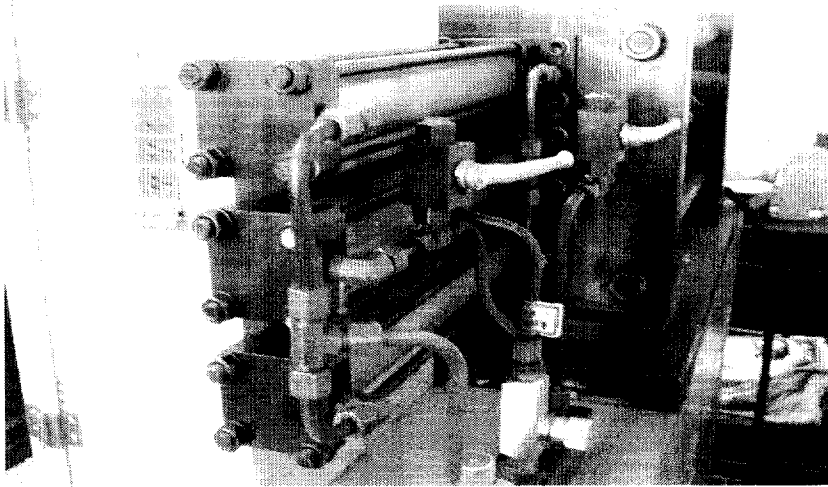
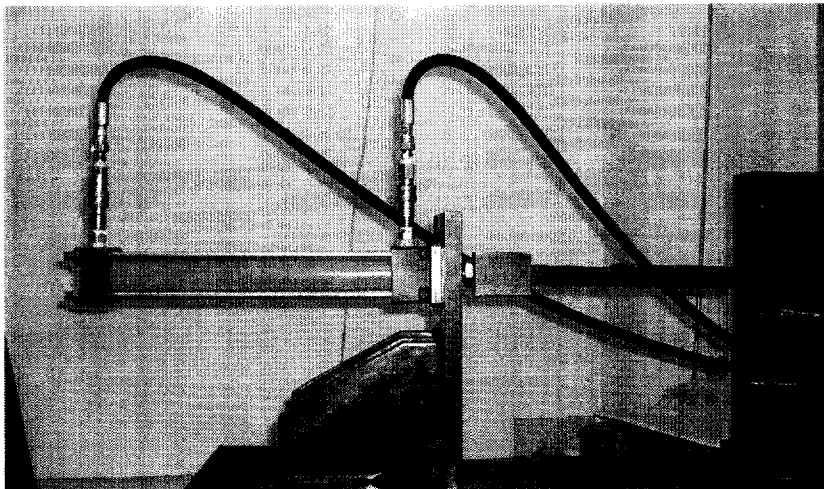


Fig. 24 Photo of rotating extrusion machine

Fig. 25(a)는 압출회전가공기에 사용되어진 메인 유압실린더로 약 2ton의 압출압력으로 작동한다. 그리고 Fig. 25(b)는 압출방향에 수직방향으로 부착되어 있는 다이 회전장치 유압실린더로 약 1ton의 압출압력으로 작동한다.



(a)



(b)

Fig. 25 Photo of main cylinder and rotating cylinder

Fig. 26은 압출회전가공 시 컨테이너에 삽입되어져 있는 소재를 압출시키는 스템(extrusion stem)으로서 직경이 $\varnothing 40\text{mm}$ 이고 길이는 180mm로 되어있다.

이 스템은 스템 홀더에 나사 형식으로 결합되어 있어 다른 가공조건에서도 $\varnothing 40\text{mm}$ 보다 작은 $\varnothing 35\text{mm}$ 또는 큰 $\varnothing 45\text{mm}$ 의 스템을 사용할 수도 있게 설계되어져 있어 압출 가공 조건을 변화시키면서 압출 가공 실험을 할 수 있다.

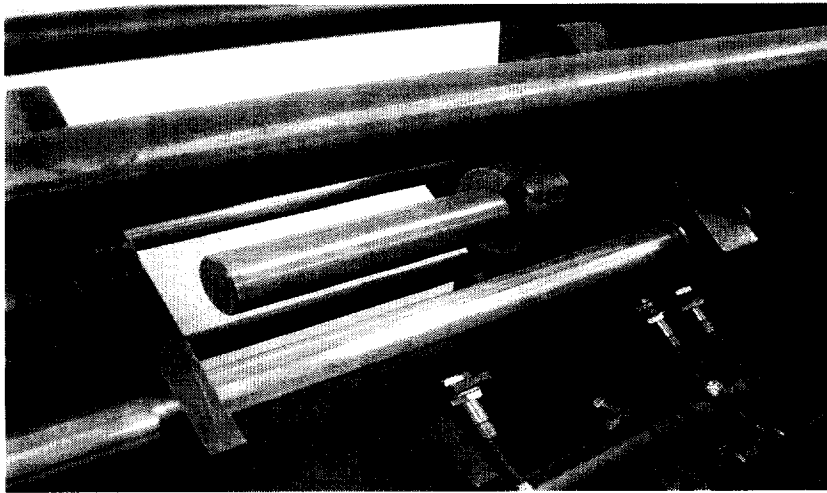


Fig. 26 Photo of extrusion-stem

Fig.27은 압출다이 전면부에 부착되어 있는 피니언 기어(pinion gear)와 랙 기어(rack gear)의 구조이다. 사진과 같이 피니언 기어와 랙 기어는 맞물려 있으며 랙 기어의 작동 중 위로 뜨는 것을 방지하기 위하여 하우징(housing)의 고정핀에 볼러를 부착한 형태이다.

이 압출회전장치는 일반적인 고정 압출다이와는 다르게 다이가 회전하기 때문에 다이와 붙어있는 블록(block)에 마찰력이 생기게 된다. 이 때 마찰력을 최소한으로 줄이고 다이의 회전을 원활히 하기 위해서 회전압출다이 전면부 즉 블록에 스러스트 베어링(thrust bearing)을 사용하였다. 또 컨테이너와 하우징 뒷면에도 마찰력이 발생하는데 이것도 역시 스러스트 베어링을 이용하여 장치들과의 마찰을 최소화하였다.

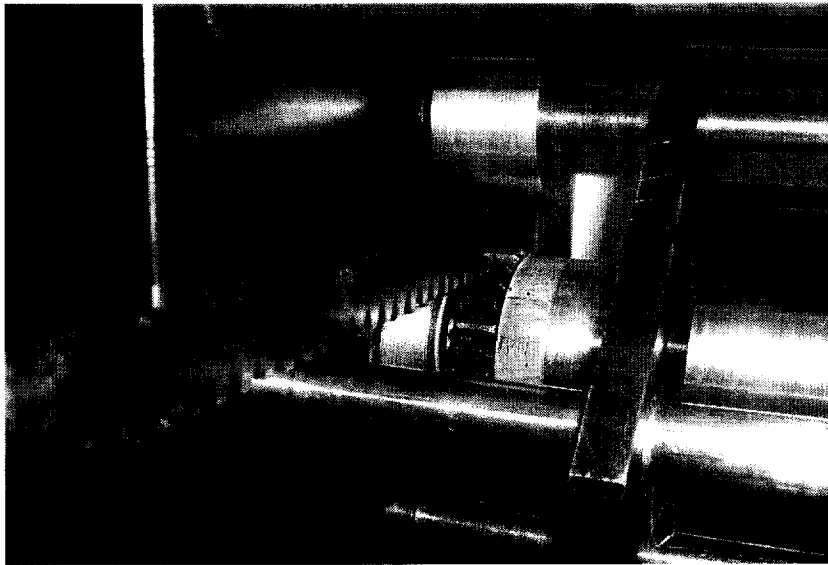


Fig.27 Photo of rotating extrusion die with rack gear and pinion gear

3.2 회전압출다이 실험장치

Fig. 28은 실제 회전압출다이와 다이홀더에 컨테이너가 삽입되어 있는 구조를 가진 사진이다. 컨테이너 전면부에 피니언 기어가 부착되어 있으며 바로 뒤에 회전압출다이가 삽입되어 있는데 피니언 기어와 다이는 두 개의 볼트에 의해서 고정되어져 압출회전가공 중 압출 되어지는 방향에 수직한 방향으로 설치되어 있는 회전장치에 부착되어 있는 랙 기어의 직선 운동이 랙 기어와 맞물려 있는 피니언 기어를 회전시킨다.

이와 같이 피니언 기어가 회전하게 되는데 이 때 회전 방향은 제품이 비틀어지는 반대 방향이다. 또한 피니언 기어와 다이가 회전하더라도 내부에 삽입되어져 있는 컨테이너는 압출회전가공기의 하우징에 고정되어져 있어 압출가공 중 회전하지 않는다.

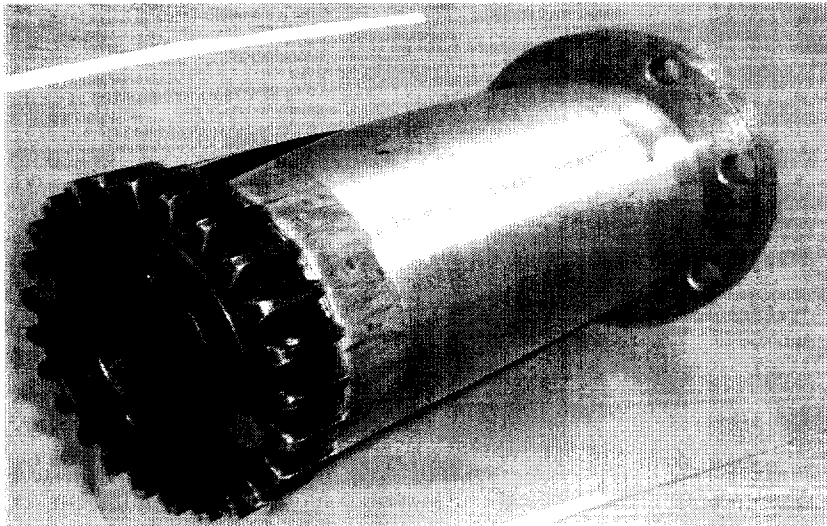
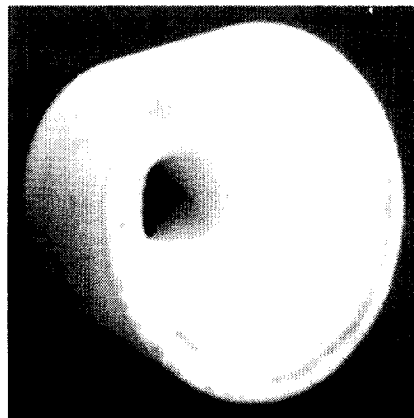


Fig. 28 Photo of rotating extrusion die assembly

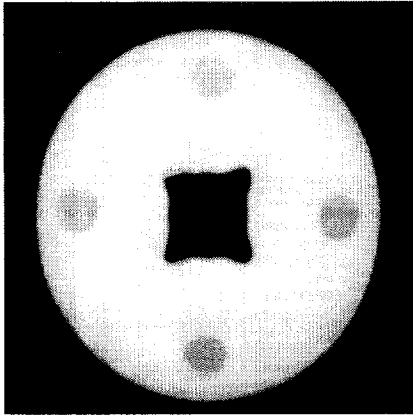
3.3 압출 다이

Fig. 29는 실험에 사용된 회전압출다이로서 입구의 원형단면에서 출구의 헬리컬형 핀볼이 단면을 가지는데 이 구조는 원추형으로 단면적이 줄어들면서 등각으로 비틀어져 치형을 형성하기 때문에 일반적인 와이컷팅(wire cutting)이나 CNC가공으로는 언더 컷(undercut)이 발생하여 가공이 불가능하다는 문제점이 발견되었다. 이렇게 복잡한 형상을 가공하기 위하여 I-DEAS를 이용한 3차원 모델링을 한 후 이것의 CAD 시스템상의 3차원 점 데이터들을 CATIA 시스템을 이용, 임의로 생성된 SURFACE들을 변형시켜가면서 점 데이터와 대조시키는 작업을 통해서 원하는 3차원 형상으로 복원된다.

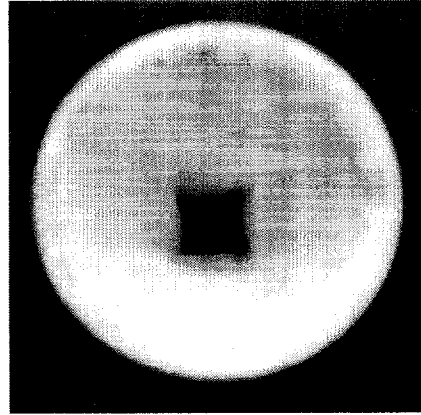
이렇게 복원된 데이터들을 활용하여 급속조형장치(rapid prototype)를 사용하여 가공하게 되는데 현재 시중에 보급되어 있는 RP 장치로서는 Stereolithography (SLA)와 SLS를 포함하는 몇 가지가 있다. 본 연구에서는 압출다이의 내부가 거칠게 되면 압출 중 소재가 압출다이 내부표면에 마찰력이 상대적으로 커지기 때문에 다이 내부표면이 매끄럽게 가공되어 질 수 있는 SLS 방식을 선택한 것도 같은 이유이다.



(a)



(b)



(c)

Fig.29 Photo of die

이 압출 다이는 위의 사진과 같이 원형단면에 4개의 핀이 있어 출구쪽의 단면형상이 전체적으로는 사각단면의 형상을 가진다. 다이의 전면부에 있는 구멍은 회전압출다이의 피니언 기어와 고정시키기 위하여 가공되어진 것으로 두 개의 나사에 의해서 고정되어져 압출회전가공 시 피니언 기어와 같이 회전하는 구조이다.

Fig.29(a)는 다이의 출구쪽 단면으로 원형단면에 4개의 핀을 가진 형태이다. Fig.29(b)는 다이의 입구쪽 단면으로 원형단면을 가지고 있다. 그리고 DEFORMTM-3D를 이용한 성형 해석 결과와 실제 소성 가공용 모사 실험 소재를 사용한 플라스티신 실험에서도 전체적으로 사각단면의 형상을 가진 변형 형상 및 비틀어진 압출 제품을 얻을 수 있었다.

3.4 실험재료

실험에서 사용된 재료는 열간상태의 금속재료를 사용해야하나 압출 하중이 과도한 관계로 기계적 장치나 시간적 소모를 줄이기 위하여 소성 모사재료를 사용하였다.

압출 가공 시 빌렛의 재료로 1000℃ 열간 가공에서 연강과 유동 특성이 유사한 플라스틱인 Fig. 30을 이용하였으며, 컨테이너에 삽입하기 위해 컨테이너 구성에 맞는 환봉형태와 컨테이너의 형상에 맞도록 구성하여 재료 내부의 기포를 제거한 후에 사용하였다.

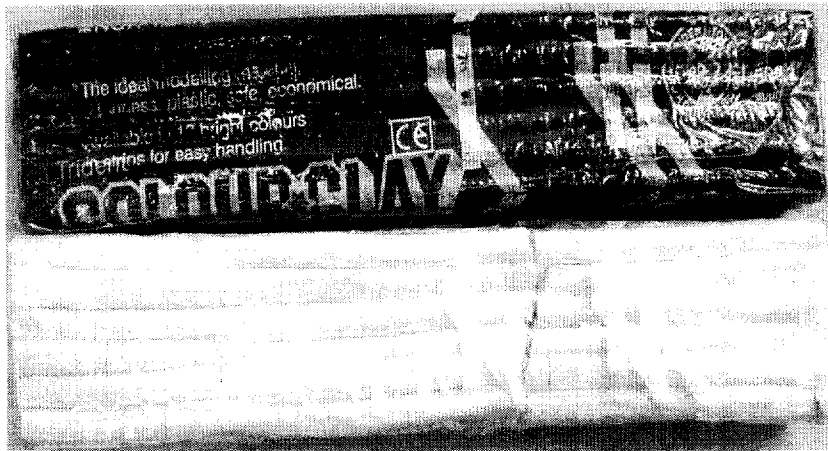


Fig.30 Photo of plasticine

3.5 고정된 압출다이를 사용한 압출제품의 단면 형상

Fig. 31과 같이 회전장치를 사용하지 않았을 때는 소재가 비틀어진 다이 내부의 경사 표면에 의해 소재에 핀을 성형하면서 회전되어지는데 내부의 단면이 외부 형상과 같이 비틀어졌음을 알 수 있다.

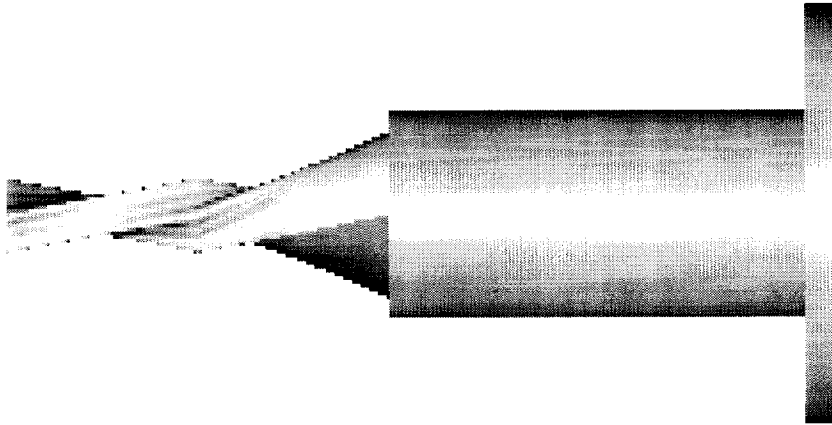
Fig. 31은 고정된 다이를 사용하여 압출한 제품을 길이 방향으로 일정한 간격으로 절단한 것으로 각 단면 내부의 왼쪽의 흰색 소재와 오른쪽의 검은색 소재의 접합선이 외부의 형상과 같이 회전되어져 있는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 고정된 다이를 사용하는 경우에 비틀어진 다이를 사용함으로써 제품을 비틀 수 있으나 이 때 소재도 함께 회전함으로써 소재를 회전시키는 하중이 부가되어 압출 하중이 증가 할 수 있음을 알 수 있다.

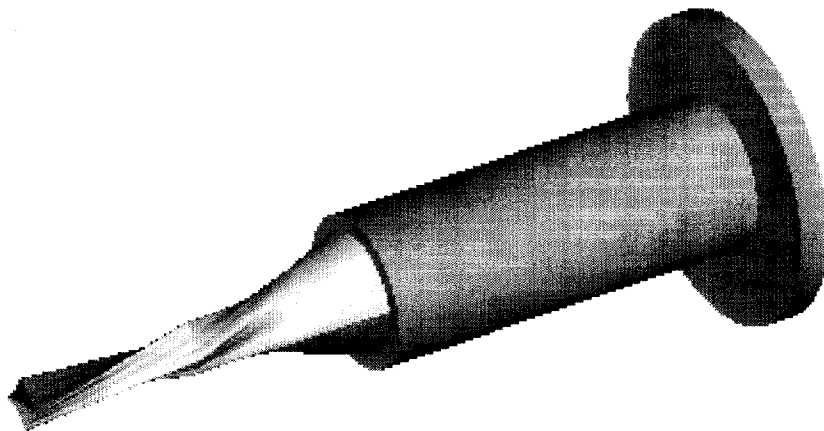


Fig. 31 Section of extrusion bar using fixed die

이와 같은 내용을 모델링 한 그림인 Fig. 32는 소재가 컨테이너를 지나 다이의 내부에서 서서히 회전되어짐을 나타낸다. 그리고 압출되어져 나온 제품은 비틀어진 형상을 가지고 있다. 이것은 다이가 회전을 하지 않기 때문에 비틀어진 다이에 의해서 소재가 회전하면서 비틀어진 제품을 성형한다는 것을 알 수 있다.



(a) Side view of twisted billet using fixed die



(b) Iso-view of twisted billet using fixed die

Fig.32 Twisted shape of billet material using fixed die

3.6 회전하는 압출다이를 사용한 압출제품의 단면 형상

Fig. 33은 회전장치를 사용하여 소재가 회전하는 방향에 반대방향으로 다이를 회전시키면서 압출한 제품의 단면으로 소재의 단면 형상은 비틀어졌으나 소재의 내부 단면은 좌우대칭 형상으로서 회전하지 않았다는 것을 알 수 있다.

그리고 Fig. 33은 다이를 회전시키면서 압출한 제품을 일정한 간격으로 절단한 형상을 나타내는데 제품의 형상은 회전하고 있으나 내부의 다른 색을 가진 소재의 접합선이 왼쪽에 흰색과 오른쪽에 검정색으로 소재가 일정한 위치를 유지하고 있음을 볼 때 소재는 회전하지 않으면서 비틀어진 제품을 가공할 수 있음을 비틀어진 다이를 사용하더라도 소재를 회전시키지 않기 때문에 압출 하중을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

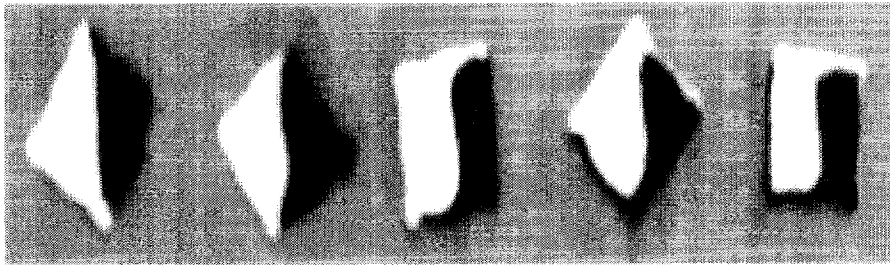
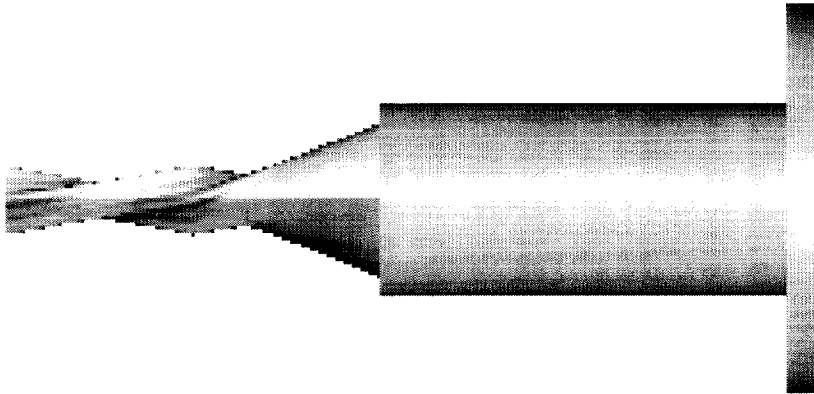
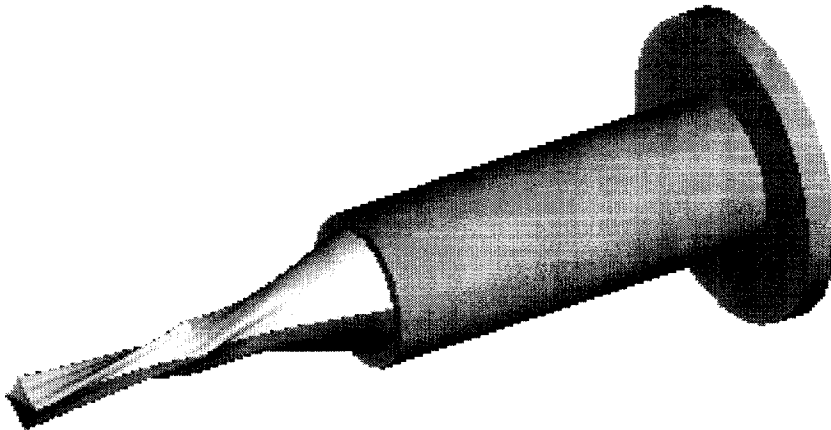


Fig. 33 Section of extrusion bar using rotated die

이와 같이 회전압출다이의 내부 소재 흐름을 모델링 한 Fig. 34는 압출가공 중 다이를 제품이 비틀어지는 반대 방향으로 회전시킴으로서 소재가 회전하지 않으면서 두 색깔의 소재 접합선이 선명하게 유지되며 제품의 형상만 비틀어진 것을 나타내고 있다.



(a) Side view of twisted billet using rotated die



(b) Iso-view of twisted billet using rotated die

Fig.34 Twisted shape of billet material using rotated die

3.7 고정된 압출 다이를 사용한 압출 제품

Fig. 35는 고정된 다이를 사용하였을 때 압출되어진 제품으로 소재가 회전하면서 그 접합선이 비틀어진 다이를 따라 계속해서 회전하게 된다. Fig. 35에서와 같이 입구에서 왼쪽에 있던 흰색 소재가 압출 다이의 출구에서 절단하였을 때 약 360° 를 회전하면서 비틀어진 것을 알 수 있다.

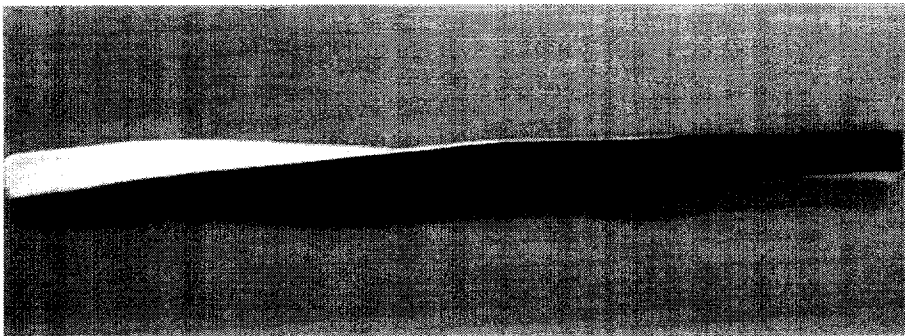


Fig. 35 Extruded product using fixed die

3.8 회전하는 압출 다이를 사용한 압출 제품

Fig. 36은 회전하는 다이를 사용하였을 때 압출되어진 제품으로 소재가 회전하면서 그 접합선이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 이것은 소재가 비틀어진 다이를 통과하는 동안 다이를 반대방향으로 회전시켜서 그 내부에서 압출되어지는 소재는 회전하지 않고 제품만 비틀어진 것을 알 수 있다.

위의 Fig. 36의 단면 사진은 입구에서 흰색 소재가 왼쪽부분에 삽입되어져서 출구쪽까지도 계속해서 회전하지 않으면서 제품이 비틀어진 것을 확인할 수 있다.

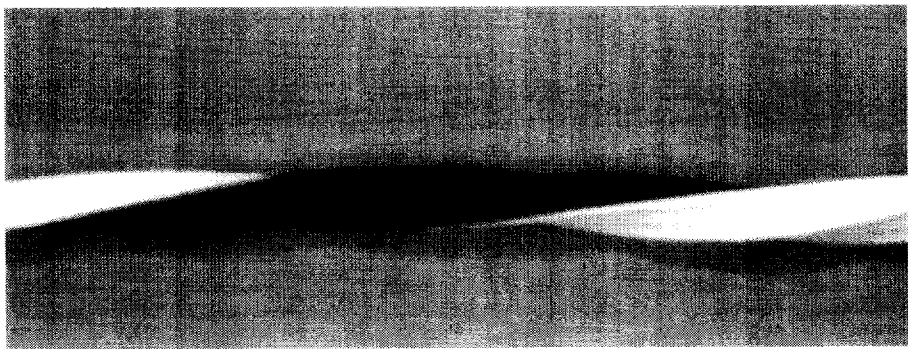
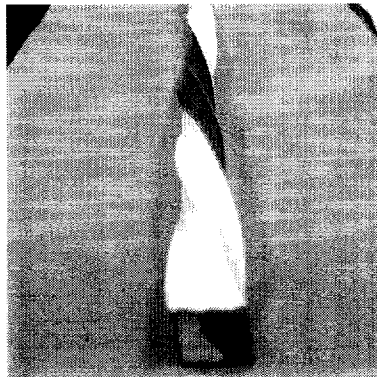
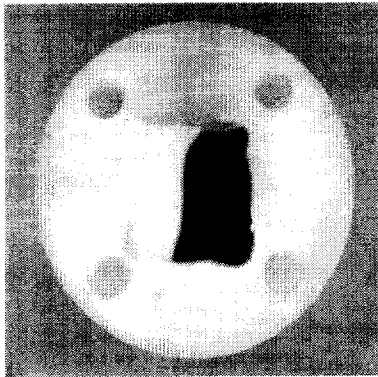


Fig. 36 Extruded product using rotated die

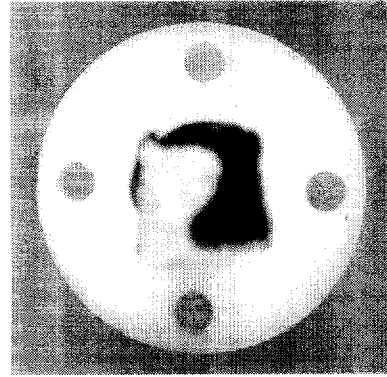
3.9 회전하는 압출 다이를 사용한 압출 제품

Fig. 37은 플라스틱을 이용하여 압출한 제품의 사진이다. Fig. 37(a)는 고정된 다이를 사용하였을 때 출구에서의 제품단면이며, Fig. 37(b)는 회전하는 다이를 사용하였을 때 출구의 제품단면이다.

고정된 다이를 사용하게 되면 비틀어진 다이에 의해서 소재가 회전하게 되는데 Fig. 37(a)와 같이 소재의 접합선은 일정하지 않고 제품이 압출되는 동안 계속해서 회전하게 되지만 Fig. 37(b)는 압출 가공 중에도 소재가 회전하지 않기 때문에 소재의 접합선이 항상 일정하게 나타난다.



(a) Exit of using fixed die



(b) Exit of using rotated die

Fig. 37 Section on die exit

4. 결 론

원형단면과 사각단면의 헬리컬 핀을 가진 원형단면 제품을 압출할 때 비틀어진 금형 표면을 가지 회전하는 압출다이를 이용한 압출성형 해석을 DEFORMTM-3D를 이용한 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 압출하중을 줄일 수 있다.

2) 이와 같이 8개의 사각단면 핀을 가진 다이와 4개의 원형단면 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 각각 10° , 20° , 30° 로 하여 서로 다른 조건에서의 각각의 최적의 다이 회전 속도를 알 수 있었으며 실제 성형 해석과 실험에 사용되어진 원형단면 압출 다이의 경우에서도 가공 조건에 따른 최적의 다이 회전 속도를 찾아 낼 수 있었다.

3) 압출회전가공에 플라스틱을 사용한 실험에서 4개의 원형단면 핀을 가진 다이를 사용했을 때 회전하는 다이를 사용한 경우 소재가 회전하지 않으면서 제품의 형상은 비틀어져 나오는 것을 알 수 있었으며 이 때 급속조형기로 가공한 압출다이의 비틀림 각도는 30° , 60° , 90° 으로 세 가지를 사용하였

으며 위의 압출회전 실험으로 다이의 비틀어진 각도가 클수록 제품의 비틀림도 역시 크다는 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 회전압출다이 속도를 찾아 적용함으로써 압출 다이내부에서 소재의 표면에 핀을 성형하면서 회전하는 압출 하중만큼 줄일 수 있기 때문에 다이의 내구도가 향상되며 양질의 압출제품을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 권혁홍 “합금강의 냉간압출에 의한 고정밀도 헬리컬 기어의 제조에 관한 연구”, 1993, 부산대학교 박사학위 논문
- (2) 최재찬, 조해용, 권혁홍 “냉간단조에 의한 헬리컬 기어의 새로운 성형방법과 상계해석에 관한 연구”, 1991, 단조심포지움 '91, 한국소성가공학회, pp.40~51
- (3) 김한봉, 진인태, “원형빌렛으로부터 나선형 사다리 꼴 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구”, 한국 소성 가공학회지 Vol. 8, No2, 1999, pp.143~151
- (4) 박대운, 진인태, “상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 인볼루트 헬리컬핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한연구”, 한국소성가공학회지 Vol.10, No.4, 2001, pp.302~310
- (5) Yang,D.Y., Kim,M.U. & Lee,C.H., “An Analysis for extrusion of helical shapes from round billet”,Int.J.Mech. Sci. 20, 1978, p.6~95
- (6) Yang.D.Y “Analytical and Experimental Investigation Into Lubricated Three-Dimension Extrusion of General Helical Sections” CIRP, 1986,Vol.15/1, pp.169~172
- (7) Toshihiro Imai, Manabu Kiuchi, Tsuyoshi Muramatsu, “Analyses of Helical Shaped Extrusion”, Journal of the JSTP, Vol.32, No. 370, 1991, p.1403
- (8) 박승민, 진인태, 2004, “회전압출다이를 이용한 헬리컬 핀블이 원형단면 압출가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회, 2004, 춘계학술대회 논문집, pp. 31~34