

Forming 시뮬레이션 기법에 의한 PROFILE ROLLING용 다이스 개발 Development of profile rolling dies from forming simulation

이 성 수*, 이 상 준**, 박 상 범***

*건국대학교 기계설계학과 CAD연구실

**동의 공업 대학

***스카니아 코리아

New methods for screw and spline production has been developed recently by Japan and other developed countries in the basis of Rolling Dies work to cut down the production cost. These methods give us high precision of the products. But we in Korea mostly import Dies for manufacturing forming products.

It is thought that if we don't develop our own technology for Rolling Dies, we will have to spend much money for importing Forming concerned equipments.

In this paper, we designed the rolling dies based on the diameter of material and calculated the proper number of teeth of gear to establish desirable method for Rolling dies.

And the result is shown after manufacturing Involute spline with the rolling dies.

1. 서론

기어 전조는 재료의 소성을 이용하여, 선반에 의하여 가공할 소재를 회전시키면서, 상온 또는 열간으로 랙 또는 피니언형 등의 전조 다이스를 압입하면서, 맞물린 상태로 치형을 성형하는 방법으로, Serration shaft, Spline shaft, Spur gear, Helical gear, Bevel gear 등의 제작에 활용되고 있다.

이러한 기어 전조는 절삭 가공에 비하여, 가공시간이 짧고, 공구의 수명이 길며, 균일한 정도의 기어를 제작할 수 있어서 양산 가공에 적합하다. 또한 치면의 경도 및 표면 거칠기가 향상되고, 치(齒)의 굽힘 강도를 크게 높일 수 있을 뿐만 아니라, 절삭으로 인한 칩이 발생하지 않기 때문에, 재료를 절약할 수 있는 장점이 있어서 주로 변속

기용 기어, 자동차용 기어 가공에 널리 활용되고 있다.

주로 자동차용 부품으로 사용되고 있는 소형 기어 스플라인, involute serration, thread form등을 가공하기 위하여 지금까지는 Hobbing 이나 Machining 등과 같은 절삭이나 연마 가공에 의존하여 왔으나 점차 Rolling dies에 의한 전조 방법이 개발되면서부터 이들의 양산 방식에 널리 적용되고 있는 현실이다.

또한, 최근에는 일본을 중심으로 하는 선진국에서 부품제조에서의 COST DOWN을 주 목적으로 하여, 한 가지의 제품에 여러가지 형태의 나사 및 스플라인 등을 동시에 고 정밀도로 제작하는데 Rolling Dies의 전조에 의한 새로운 방식이 개발

되어왔다.

현재, 일본의 도요다 자동차를 시작으로 하여, 이와 같은 동시 전조 방법이 채용되고 있으며, 이와 관련된 일본의 NACHI, OSG社 등이 이러한 전조 기계와 Dies를 제작하여 일본 내에 공급하고 있으며, 이들에 의하여 제작된 전조 기계가 이미 한국에도 약 100여대 정도가 수입되어 있으며, 이와 직접적으로 관련된 전조용 Dies도 전량 수입에 의존하고 있고, 이들의 사용빈도 또한 급속도로 신장하고 있는 상황이다.

따라서 이들 전조기계 및 전조용 Dies에 대한 국내에서의 개발이 이루어지지 않는다면, 국내 부품산업의 일본 종속화는 더욱 심각하여 질 것으로 판단되며, 이의 당연한 결과로 관련 기계 및 부품의 수입도 현저히 상승 할 것으로 예상되고, 이로 인하여 현재까지 사용되고 있는 종래의 공법에 의한 Profile Rolling Dies의 사용이 급격히 감소함으로써 국내 Rolling Dies제조업체의 판매도 격감될 것으로 판단된다.

현재 국내의 자동차 업계 및 자동차 관련 부품 생산 업체들이 전조 기계와 Rolling Dies를 수입하여 사용하고 있으며, 몇몇 업체들이 이들 업계의 요구와 필요에 따라 수입된 전조 공구 Dies를 Copy하여 제작하고 있는 지극히 초기 단계의 기술에 지나지 않는 실정이다.

따라서 이들에 대한 국내 개발이 완료되면, 이미 수입에 의존하고 있던 이들에 대한 수입 대체가 이루어 저서, 일본을 제외한 세계시장이 개발의 초기 단계에 있으므로 수출의 잠재성도 매우 큰 것으로 판단된다.

본 개발에서는 자동차용 부품으로 사용되고 있는 Involute Spline용 전조 다이스의 설계 및 제작 기술을 확립하기 위하여, 기어 소재가 정확한 이수로 분할이 되도록, 소재의 외경을 기준으로 하여 전조 다이스를 설계하고, 전조 다이스 기어 연삭등의 제작 기술을 개발하여, 실제로 제작한 전조 다이스의 성능 기준을 검토하고, 또한 개발한

전조 다이스로 생산한 Involute spline이 제품 규격을 만족하는지 비교 평가한다.

2. 전조 이론

2-1. 전조 기계의 구성

다음 그림은 Spline(Serration) 전조 기계(유압식)에 대한 기구를 설명하고 있는 것으로, 주요 구성 부품으로는 두 개의 Rack형 다이스와 Dies를 고정하여 상하로 움직이는 두 개의 Slide units 그리고 Slide units를 구동시켜주는 전조용 유압 실린더가 두 개, Rack형 Dies가 정확하게 작업 할 수 있도록 안내하는 동기 Rack과 이를 Support하여 주는 동기 Gear로 구성되어 있다.

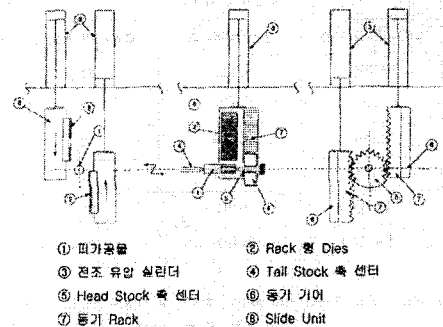


그림 1. Spline 전조기계(유압식)의 개략도

또한 여기에 피 가공물과 피 가공물을 지지하여 주는 Tail Stock축 Center와 Head Stock축 Center가 양측에서 피 가공물을 지지하여 주고있다.

즉,

- a) 피 가공물 ①은 Head Stock축 Center ⑤와 Tail Stock축 Center와 지지 되면서 자유롭게 회전할 수 있도록 되어있다.
- b) 피 가공물①의 좌우에는 1쌍의 Rack형 Dies가 각각의 Slide Unit ⑧에 설치되어 있다.
- c) 좌우의 Slide Unit ⑧은 각각 별개의 전조 유압 실린더 ③에 의하여 구동되지만 동기 기어 ⑥과 동기 Rack ⑦의 동기 기구에 의하

여 서로 등속도로 운동하도록 되어있다.

은 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

다음의 그림은 Dies의 상세도를 나타내고 있으며, 그림에서는 Dies를 Slide Unit에 고정하기 위한 구멍의 위치, 그리고 실제 Dies에서의 이 부분의 길이를 나타내고 있다. 여기에서도 마찬가지로 이 부분의 길이는 전조 시작부, 평행부, 그리고 이송 안내부의 세 부분으로 구성되어 있으며, 이와 같이 구분되어 있는 것은 처음부터 무리하게 전조를 시작할 수 없기 때문이다.

$$\frac{N}{2} = n \quad (2-3)$$

또한, 그림4는 Dies의 길이를 결정하는 방법을 보여주는 것으로, 전조 시작부에서는 n회전, 평행부(사상부)에서는 1.5회전, 그리고 이송 안내부에서는 여섯 산만큼의 길이를 설정하여 총 Dies의 길이를 정하게 된다.

즉, Dies의 설정 길이

$$L_1 = (n + 1.5) \times \text{피치원지름} \times \pi \times \text{여섯 산} \times \text{모듈} \times \pi \quad (2-4)$$

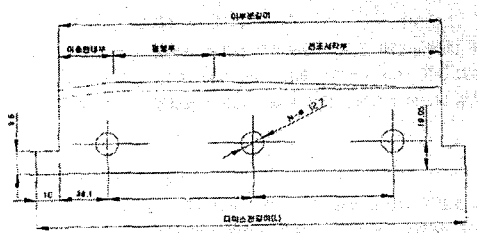


그림2. Dies의 상세도

2-2-2. Dies의 두께

Dies의 두께는 일반적으로 다음의 식에 의하여 구한다.

2-2. Spline 설계치수 결정

Spline 가공을 위한 Dies의 설계를 위해서는 Dies의 길이, 두께, 폭 등을 결정 하여야 한다.

여기에서는 경험에 의하여 다음과 같은 방법으로 이들의 설계 치수를 결정한다.

Dies의 두께

$$= 69.85 - (\text{가공하려는 이(齒)밀 지름}) \div 2 \quad (2-5)$$

즉, 가공하려는 피 가공물의 이 밀지름의 1/2을 주어진 길이로부터 빼어서 Dies의 두께를 결정하게 된다. 이 때에 가공하려는 중심 사이의 거리나 피 가공물의 이 밀 지름이 명확하지 않은 경우에는 사용하고 있는 Dies와 설정이 달라지기 때문에 조정을 하여야 한다.

2-2-1. Dies길이의 설정 방법

우선, 가공하려는 소재의 지름과 피치 지름이 비슷하다고 하는 가정 하에서 다음 식과 같이 계산 하여 구한다.

2-2-3. Dies의 폭

Dies의 폭은 피 가공물의 완전 나사산 부의 길이와 Dies의 양측의 모따기를 고려하여 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$\frac{\text{소재지름} - \text{작은지름}}{2} = \text{파고 들어가는 양} \quad (2-1)$$

$$\text{Dies의 폭} = \text{완전 나사부 길이} + 10 \quad (2-6)$$

$$\frac{\text{파고 들어가는 양}}{0.05 \sim 0.08} = N \quad (2-2)$$

한편, 한쪽 전조 공구와 가공물과의 접촉 횟수 n

Dies의 폭은 완전 나사부 길이에 10mm 또는 인

치로 설정한다. 이미 사용하고 있을 때는 Dies의 폭 및 모따기 값이 추가로 필요하다. 그러나, 모따기 방법에 따라서는 사용하기 곤란한 경우가 있으므로 유의하여야 한다. 즉, Counter Flow, Rack 전조용 Dies의 형상과 종류에 따라 Dies의 길이, 폭, 두께를 결정하게 된다.

3. Rack 전조용 Dies에 의한 전조 가능 범위
Rack 전조식 Dies에 의한 전조 가능 범위는 여러 가지 제약 조건 때문에 다음과 같이 제한하고 있다.

- 1) 최대 모듈 : 1.5875(DP 16/32)
- 2) 압력각 : 20° (Involute Spline) 이상
- 3) 이의 수 : Straight Teeth 14 이상

한편, 그림3에서 나타내고 있는 Helical의 경우에는 피 가공물이 다음의 조건을 만족시키는 이수이면, 전조 가공이 가능하다.

단, 그림3에서 $Pa' > Pa$ 의 조건이 필요하다. 즉, 그림에서

$$\tan(B) = \frac{Pa'}{L}$$

이므로, $Pa' = \tan(B) \cdot L$ (2-7)

$$Pa = \frac{PCDX\pi}{Z} \quad (2-8)$$

B: 비틀림 각 L: 피 가공물의 길이

PDC: 피치원의 지름 Z: 피 가공물의 이 수

3-1. 이의 크기

이의 크기는 이의 높이가 높은지, 낮은지 여부에 따라 달라지게 되는데, 높은 치에서의 이의 길이는 다음 식에 의하여 구한다.

$$\text{높은 치 : 이의 길이} = \text{모듈} \times 2.25 \quad (2-9)$$

높은 치의 가공은 일반 전조로는 상당히 어렵다. 하지만 Counter Flow Dies에 의한 마무리(끝처리 :

사상) 전조는 가능하다.

$$\text{낮은치 : 이의 길이} = \text{모듈} \times 1.65 \quad (2-10)$$

낮은 치의 전조 가공은 작은 지름의 치수가 기초원의 지름과 크게 차이가 나지 않으면, 일반적인 전조는 가능하다.

3-2. 이의 가공 정밀도

이의 가공 정밀도는 일반 전조와 마무리 전조로 나누어서 고려하면, 다음과 같다. 즉,

일반 전조 : KS 5 ~ 6 급 정도

마무리 전조 : 4급 정도

3-3. 비틀림 각

일반적인 피니언 기어의 이 수는 적기 때문에 전조 가공을 하는 경우, 비틀림 각을 크게 하는 것이 바람직하다.

3-4. 압력각

전조하기 쉬운 압력각은 PA30°가 많다. 한편, 피 가공물의 최대 지름, 최대 전조 가능 이의 폭, 피 가공물의 경도는 다음과 같다.

1) 피 가공물 최대 지름 : 약 60 mm

2) 최대 전조 이의 폭 : Max 120 mm

3) 피 가공물의 경도 : 최고 Hv 300-350

그러나 피 가공물의 생산성을 고려하면 피 가공물의 경도는 Hv225 이하가 가공하기 용이하다.

4. 결과

본 장에서는 종류별 전조 실행 예에 대하여 다루기로 한다. 구체적으로는 단독전조, Helical 전조, Spline, 나사 및 홈의 동시 전조, 소재 지름이 다른 Spline과 나사의 선택 왕복 전조에 대하여 설명한다.

4-1. 단독 전조 예(Involute Spline)

그림3은 Involute Spline의 단독 전조를 실행한 후의 제품을 보여 주고 있으며, 그림4는 이에 대한 Dies를 나타내고 있다. 또한 표1는 이에 대한 제원을 나타내고 있으며, 표2는 이에 대한 성적서로 검사 항목인 외경, 외경, 모듈, Over pin지름, 골지름, 압력각, 이수에서 모두 허용 공차 안에서 측정값에서 양호하다는 것을 알 수 있다. 그림5는 Profile 측정 결과를 나타내고 있다.

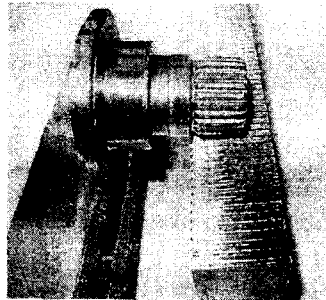


표1 Involute Spline의 제원

구 분	제 원
이 수	25
Module	1.05833
압력각	45°
기준 피치원 지름	26.458
기초원 지름	18.709
이끌원 지름	27.42±0.1
골 지름	25.3±0.1
Over pin 지름	29.676 ⁰ _{-0.037}
핀 지름	2.0
기준 소개 지름	26.44

그림4 단독 전조용 Dies(Involute Spline)

표5 제품 검사 성적서

표5 제품 검사 성적서

제 품 검 사 성 적 서
CERTIFICATE OF MILL'S INSPECTION

입 채 명	개발 SAMPLE						
품 명	인볼류트 스플라인(φ27.42×m1.05833×Z25×PA45°)						
LOT 크기	5EA	검 사 일 자	2000년 10월	검 사 자	이 재		
No.	1	2	3	4	5	6	7
검 사 항 목	외 경	외 경	MODULE	OVER PIN	골 지 름	압 력 각	이 수
가 준 치	유대물용 압축기 27.42 ^{+0.1} _{-0.1}	1.05833	29.676 ⁰ _{-0.037}	φ25.3 ^{+0.1} _{-0.1}	45°		25
측 X 1	●양호 : 5	27.43	1.05833	29.653	25.23	45°23'	25
X 2	●불량 : 0	27.44	1.05833	29.652	25.24	45°20'	25
X 3	●불량내역	27.43	1.05833	29.652	25.24	45°20'	25
X 4		27.44	1.05833	29.652	25.24	45°23'	25
X 5		27.46	1.05833	29.651	25.23	45°23'	25
검 사 항 목	No.1	No.2,3,4	No.5,6				검 사 결
합 계	검 사 명 비	전 수 검 사	전 수 검 사	전 수 검 사	비 고		합 계
							불량 개

東南精密工業株式会社 A4(297×21)

표4에서 Over Pin지름은 Involute Spline 전조 후 에 이를 측정하기 위하여 Pin을 Spline의 양측에 삽입한 후에 측정하는 값을 의미한다.

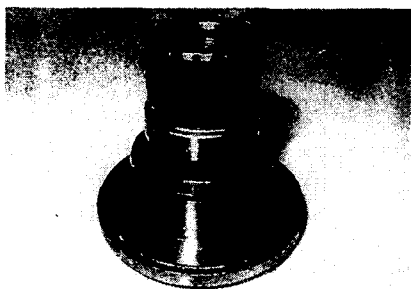


그림3 단독 전조 제품(Involute Spline)

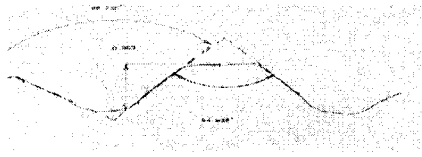


그림5 Profile 측정 결과

4-2. 단독 전조 예(Helical Spline)

그림6은 Helical Spline의 단독 전조를 실행한 후의 제품을 나타내고 있다.

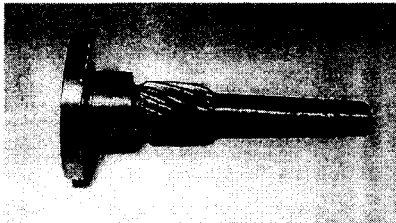


그림6 단독 전조의 예(Helical Spline)

5. 결론 및 고찰

본 개발 과제를 통하여 Forming simulation 기법에 적용될 수 있는 고 정밀도를 가진 Multi형상 동시 전조용 Rack형 전조 다이스를 개발하는 것이다. 따라서 현재 부품 생산 업체가 수입하여 사용하고 있는 Dies를 구입 또는 입수하여 그 장단점을 분석하고, Simulation검증을 통한 Dies를 설계하여, 개발 및 개선 제작을 하여 현장 사용 시험을 통하여 그 성능을 검증 하였다. 또한 품질이 우수하고 경쟁력 있는 저가의 Dies를 제작하기 위한 X-Y-Z 축 연마기에 대하여 기초자료를 수집하였다.

다른 경우의 동시 전조등에 대해서는 그 결과가 만족스럽게 나왔으나 Helical Spline Teeth 건너뿔 전조에 대해서는 아직 개발의 여지가 남았다. 또한, 이러한 개발의 결과로 기대되는 효과로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- 1) 국내 관련 업체에의 공급이 가능하게 되어, 국내 부품업체의 공구 비용을 절감할 수 있으며(Dies의 재생도 가능함), Cost Down을 위한 부품 업체의 개발 기간을 단축 할 수 있다.
- 2) 새로운 부품을 개발할 때에 이들 관련 공구의 적기 공급 및 부품 업체와 공구 업체간의 공동 노력이 많이 필요한 바, 국내 업체에의 공급이 가능하여질 경우, 이에 대한 대처를 용이하게 할 수 있다.
- 3) 수입에 의존하고 있던 Dies에 대한 수입 대체가 이루어지며, 또한, 일본을 제외한 세계 시장이 개발의 초기 단계에 있으므로 수출의 가능성도 매우 큰 것으로 기대된다.
- 4) 또한, 현재까지 구 공법에 의한 전조 방법으로는 극복할 수 없어서, 기계 절삭 또는 연마에 의하여 작업하던 특수 부품의 전조가 가능하여 짐으로서 관련 부품 업체의 생산성 향상에 따른 Cost Down이 가능하다.
- 5) 본 전조용 다이스의 개발로 인한 매출 효과는 2000년 0.5억원, 2001년 2억원, 2002년 5억원, 그리고 2003년 부터는 내수 10억, 수출 5억, 합계 15억 이상의 매출 효과가 기대되고 있다.

참고 문헌

1. Spline Rolling of Deep Drawn Cups.
T. takemasu, R. Matsunaga, T. Ozaki, R. Kamashita, H. Tsukamoto
2. Elasto-plastic finite element simulation of rolling and compression between wedge-shaped dies.
Gadala MS, Wang J
3. 最新 機械工作. 장재선