

## 스퍼기어 단조용 예압된 금형의 설계에 관한 연구

허관도\* · 여홍태\*\* · 송요선\*\*\*

### A Study on The Design of Prestressed Die for Spur Gear Forging

K.D. Hur, H.T. Yeo and Y.S. Song

#### Abstract

In this study, the design of prestressed die for spur gear forging have been investigated. The stress concentration at notch of the die insert is very important in the design of die for the forging of spur gear such as non-axisymmetric geometry. In the previous study, the flexible tolerance method was used in order to search the optimal value of design variables considering the constrain conditions. In the design process, it was also involved the safety factor to the yield strength of each ring by considering allowable tensile or compressive hoop stress in each ring. Using this technique, the die deign for spur gear forging has been successfully performed without yielding of the die after shrink fitting and during forging.

**Key Words** : Flexible tolerance method, Stress concentration, Safety factor, Yield strength

#### 1. 서 론

일반적으로 기어는 주로 동력전달에 사용되는 기계부품으로 정밀도와 강도를 요구하는 제품이다. 기어의 제조방법은 용도, 크기 및 재질등에 따라 적합하게 선택하여야 하며 크게 절삭가공법과 비절삭가공법으로 분류된다. 최근 비절삭가공법으로 소성가공에 의한 기어성형법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

스퍼기어는 잇줄이 직선이며 축에 평행한 기어로 단조시 금속유동이 측면방향으로 일어나기 때문에 단조가공시 높은 가공압력을 필요로 한다. 이러한 높은 가공압력은 금형의 파손, 소성변형 및 마모등에 영향을 주어 기

어의 정밀도 저하의 원인이 된다. 이러한 점에서 낮은 가공압력으로 기어를 성형하는 여러 정밀단조법이 개발되었다.<sup>(1),(2)</sup>

본 연구에서는 이러한 높은 가공압력이 작용하는 스퍼기어 성형용 금형에서 보강링의 설계에 대해 연구하였다. 또한 기어와 같은 형상은 노치부가 있으므로 응력집중(stress concentration)이 발생하게 된다. 그러므로 금형의 억지끼워맞춤시 항복하지 않으며 기어 성형시 안전한 설계값을 결정하기 위해서 플렉시블 허용오차법(flexible tolerance method)과 각 링의 인장 및 압축에 따라 항복강도를 달리하여 금형의 치수를 결정하는 이전 연구<sup>(3)</sup>에서 개발된 금형치수결정 프로그램을 적용하였다.

\* 동의대학교 기계·정보산업공학과 기계공학전공 교수

\*\* 동의대학교 일반대학원 기계공학과

\*\*\* 구미기능대학 컴퓨터응용기계과

## 2. 스퍼기어의 냉간단조 금형설계

### 2.1 스퍼기어 금형구조

스퍼기어의 규격은 Table 1과 같고 2차원 평면응력 상태로 가정한 금형인서트와 안내편의 형상은 Fig. 1과 같다.

Table 1 Specification of spur gear

No. of Teeth	18
Module	1.5
Pressure angle	20°
Modification coefficient	0.0
Standard pitch circle diameter	27.0mm
Base circle diameter	25.3667mm

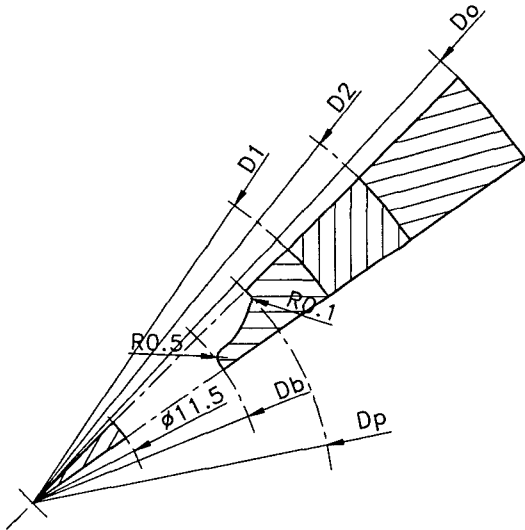


Fig. 1 Dimension of the precision forging die of spur gear

Fig. 1에서 스퍼기어의 이끝원과 인벌류트곡선이 만나 R0.1(mm)로 라운딩 된 노치부는 억지끼워맞춤시 응력집중이 발생하게 된다. 또한 단조공정에서 높은 성형압력에 의해 원주방향의 인장응력이 크게 작용할 수 있는 부분이다.

### 2.2 스퍼기어 성형해석

스퍼기어 단조에 사용된 소재는 완전 풀림처리된 상용 알루미늄으로 유동응력은 식(1)과 같다.<sup>(2)</sup>

$$\bar{\sigma} = 504.1 \bar{\epsilon}^{0.16} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

초기 소재의 치수는 외경이 23mm, 내경이 11.5mm 이고 높이는 15mm 로 하였다. 해석시 마찰조건은 일정전단마찰상수  $m=0.13$  으로 하였고 스퍼기어의 성형공정은 안내형 단조공정으로 가정하였다.

스퍼기어의 성형해석은 3차원 상용 강소성유한요소해석 코드인 DEFORM-3D<sup>(4)</sup>를 이용하였고 성형해석의 마지막 단계에서 유효변형을 분포는 Fig. 2에 나타내었다.

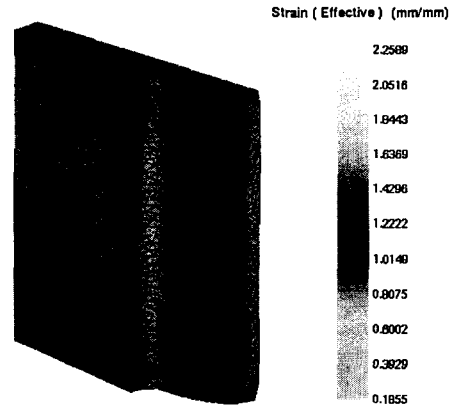


Fig. 2 Distribution of effective strain at the final stage

### 2.3 금형설계 및 해석

스퍼기어 단조용 금형에 사용된 재료의 기계적인 성질은 Table 2와 같다. 금형의 응력해석은 상용 유한요소해석코드인 ANSYS<sup>(5)</sup>를 이용하였다.

Table 2 Mechanical properties of the die

	Mat.	HrC	E(GPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	$\nu$
Die inset	SKH9	65	220	2450	0.3
1 <sup>st</sup> Stress ring	SKD11	60	209	1950	0.3
2 <sup>nd</sup> Stress ring	SKD61	52	212	1450	0.3

본 연구에서는 금형설계에 있어 2차원 평면응력상태로 가정하여 해석하기 위하여 3차원 성형해석에 의해 구한 금형에 작용하는 절점력을 높은 절점력이 발생하는 구간에서 길이에 대해 평균하여 2차원 금형해석 및 설계에 적용하였다. 그 과정은 Fig. 3과 같다. 또한 금형설계에 있어 노치부에서의 직경을 기준으로 하여 등가의 원으로 가정된 금형에 대해 치수를 결정하였고 결정된 치수로 스퍼기어 형상의 2차원 모델에 대해 해석을 수행하였다.

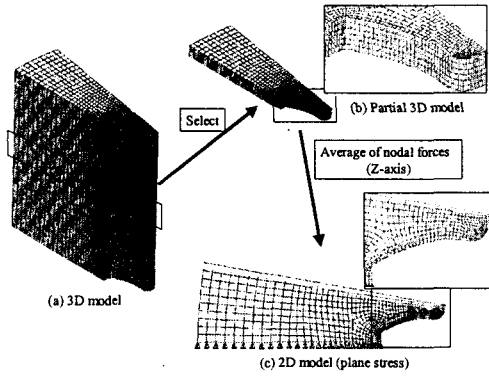


Fig. 3 Interpolation of nodal forces from 3D to 2D FE model

금형의 설계를 위한 기본 입력값은 Table 3과 같다.

Table 3 Base input data for the die design

Number of rings	3
Inner diameter (mm)	30.0
Outer diameter (mm)	274.0
Limit of interference (mm)	1.0
Limit of diameter ratio	0.9

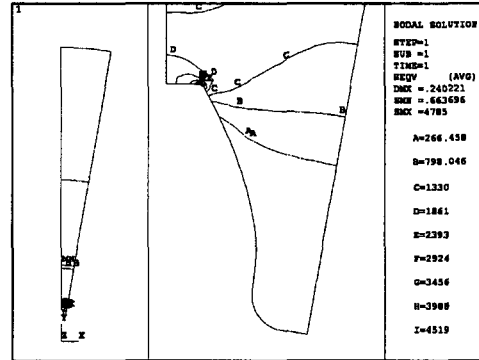
먼저 모든 링에 대해 항복강도를 기존 항복강도에 비해 70%로 설정하여 금형의 치수를 결정하였다. Table 4는 이 경우의 입력값과 출력값을 나타낸다.

Table 4 Input and calculated output data - Case 1

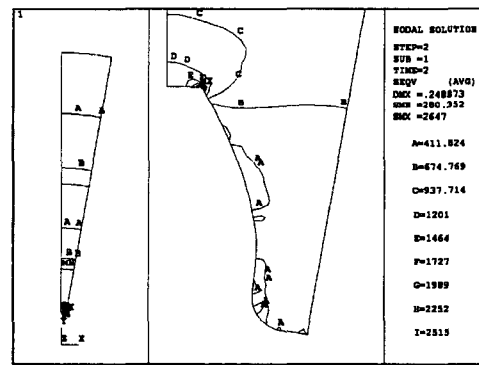
Input data			
	Safety factor		
	Compressive	Tensile	n <sup>th</sup> ring
Die inset	0.7(1715)	0.7(1715)	0.7(1715)
1 <sup>st</sup> Stress ring	0.7(1365)	0.7(1365)	0.7(1365)
2 <sup>nd</sup> Stress ring	0.7(1015)	0.7(1015)	0.7(1015)
Output data			
Diameter (mm)	D <sub>1</sub> =71.476	D <sub>2</sub> =151.195	
Interference (mm)	z <sub>1</sub> =0.35807	z <sub>2</sub> =0.50566	

금형의 유효응력분포 및 금형인서트 내면을 따라서 유효응력변화를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4(a)는 금형의 억지끼워박음에 의한 체결 후 유효응력분포이며 Fig. 4(b)는 단조 마지막 단계에서 금형의 유효응력분포를 나타낸다. 체결 후 금형인서트의 노치부에서 유효응

력이 항복강도를 초과하므로 불안정한 설계이다. 또한 단조 마지막 단계에서 노치부의 유효응력이 항복강도를 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 보강링의 유효응력은 항복강도의 70% 보다 낮은 응력상태이므로 안전하다.



(a) After shrink fitting



(b) At the final stage

Fig. 4 Distribution of effective stress - Case 1

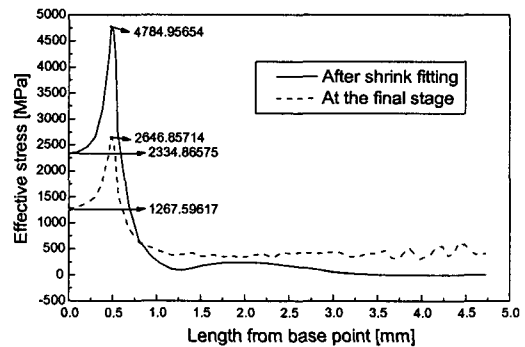


Fig. 5 Variation of effective stress at the inner surface of die insert - Case 1

금형의 체결 후 금형인서트의 유효응력을 항복강도의 70% (1715 MPa) 보다 낮게 설계하기 위하여 금형인서트의 항복강도를 낮게 변경하여 입력하였다. 그 결과

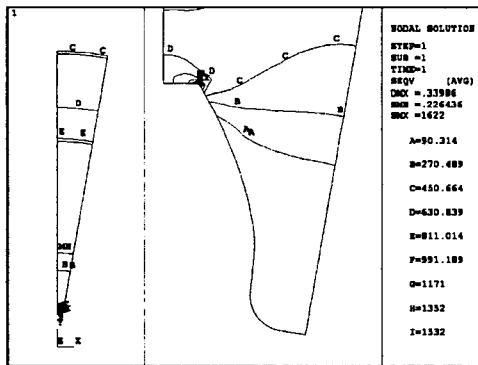
Table 5와 같이 금형인서트에 항복강도를 21%로 낮추어 설계를 하였을 경우 유효응력이 항복강도의 70%보다 낮은 안전한 설계를 얻을 수 있었다. 또한 단조공정 전후 금형인서트 내면의 유효응력의 변화가 줄어든 것을 알 수 있었다.

Table 5 Input and calculated output data - Case 2

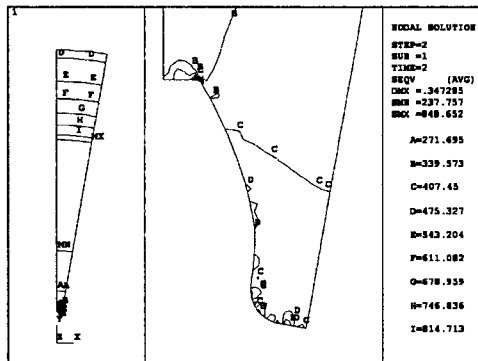
Input data			
	Safety factor		
	Compressive	Tensile	n <sup>th</sup> ring
Die inset	0.21(514.5)	0.21(514.5)	0.21(514.5)
1 <sup>st</sup> Stress ring	0.7(1365)	0.7(1365)	0.7(1365)
2 <sup>nd</sup> Stress ring	0.7(1015)	0.7(1015)	0.7(1015)

Output data		
Diameter (mm)	D <sub>1</sub> =87.075	D <sub>2</sub> =190.769
Interference (mm)	z <sub>1</sub> =0.00916	z <sub>2</sub> =0.83820



(a) After shrink fitting



(b) At the final stage

Fig. 6 Distribution of effective stress - Case 2

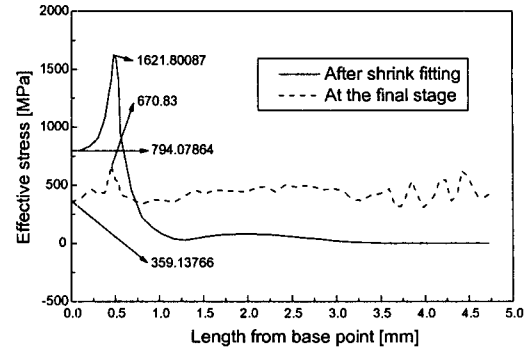


Fig. 7 Variation of effective stress at the inner surface of die insert - Case 2

#### 4. 결론

본 연구에서는 스퍼기어 냉간단조용 금형의 설계에 기존에 개발한 금형치수결정 프로그램을 적용해 보았다.

스퍼기어와 같은 비축대칭인 금형에 대해 개발한 프로그램을 적용하기 위하여 금형인서트의 내경을 노치부에서 등가 원으로 가정하였다. 또한 보강 후 노치부의 응력집중을 완화하기 위하여 안전율을 고려하여 항복강도를 낮추어 금형치수를 결정하고 해석한 결과로부터 다음과 같이 안전한 스퍼기어 금형을 설계할 수 있었다.

금형치수 결정에 있어 항복강도를 보강링은 재료 항복강도의 70%로 하고 금형인서트는 재료 항복강도의 21%로 설계한 경우 보강 후 노치부의 최대유효응력이 항복강도의 70%보다 낮은 1621.8 MPa 이고 단조 최종단계에서도 670.83 MPa 이므로 안전한 상태를 알 수 있다. 또한 노치부에서 보강 후 및 단조 최종단계에서 유효응력의 차가 가장 작은 설계임을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- (1) Choi, J. C. and Choi, Y., 1998, "A Study on the Forging of External Spur Gears: Upper-Bound Analyses and Experiments", Int. J. Mach. Tool. Manufact., Vol. 38, No. 10-11, pp. 1193~1208.
- (2) Choi, Y., 1999, "Development of Precision Cold Forging Technology for Spur Gear", Ph.D. Dissertation, Pusan National University.
- (3) 여홍태, 최영, 허관도, 2001, "플렉시블 허용오차법에 의한 냉간압출 금형설계", 한국소성가공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp. 170~173.
- (4) DEFORM-3D Labs Manual, Version 3.2.
- (5) ANSYS Users's Manual, Revision 5.7.