

자동차 Steering Yoke의 정밀냉간단조에 대한 연구

김민응*, 민동균**, 송두호***, 박용복****, 임성주*****, 최석우*****, 나경환*****

Study on the Precision Cold Forging for Steering Yoke of Automobiles

By Kim Min-Eung, Min Dong-Kyun, Song Doo-Ho, Park Yong-Bok, Lim Sung-Ju, Choi Seog-Ou and Na Kyoung-Hwan

Abstract

The precision cold forging process for steering yoke of automobile has been analysed by using rigid-plastic finite element analysis code, DEFORM-3D. Also the experiment has been performed through the optimized process. Until now, steering yoke has been largely manufactured by hot forging or welding of forged head and shaft parts because of technical difficulty. The study has shown successful results of the precision cold forging through the proper selection of the process.

Key Words : Precision Cold Forging, Steering Yoke, Rigid-Plastic Finite Element Method.

1. 서 론

단조공정은 가장 기본적인 금속성형 공정으로 크게 열간단조와 냉간단조로 분류할 수 있다. 열간 단조는 소재가 재결정온도 이상의 온도에서 성형되도록 하는 것인데 보통 초기의 간단한 형상으로부터 상당한 변형량을 일으키는 경우에 주로 사용되며 최종 제품을 생산하기 보다는 최종 제품의 전가공 공정으로 이용된다. 반면 냉간단

조 공정은 성형한 후 마무리 작업에 이용된다. 냉간단조는 또한 자동차 부품이나 각종 기계요소와 같이 비교적 작고 정밀한 부품을 생산하는데 직접 이용되기도 한다. 냉간 단조의 장점으로서는 깨끗한 표면 마무리, 양호한 치수 정밀도, 제품의 높은 인장강도와 바람직한 섬유조직, 높은 생산성등이다.

본 연구의 대상인 steering yoke는 지금까지는 주로 열간 단조 공정으로 제조되어 왔으나 제품의 특성상 요구되는 정밀도를 만족시키지 못하고, 후가공으로 인한 공정수의 증가와 경제적 손실을 초래하고 있다. 이러한 열간 단조품을 냉간 단조로 성형하는 경우는 금형의 마모, 응력집중이 국부적으로 생기기 쉽고, 금형에 탄성변형이 생겨 정밀제품 생산의 어려움뿐만 아니라 고하중

* (주)대림MTI
** 한국기술교육대학교 기계공학부
*** 공주대학교 대학원
**** 공주대학교 기계공학부
***** 한국생산기술연구원

으로 인한 금형 파손등의 기술적인 문제가 발생한다. 그러므로 금형의 응력집중 및 단조하중을 예측하고 금형의 탄성변형을 적게 하도록 하는 것이 정밀도를 유지하고 금형의 수명을 연장하는데 중요한 고려사항이 되며 최적공정설계를 위한 기본자료로 활용될 수 있다.

steering yoke에 대한 정밀냉간단조는 전방압출과 후방압출의 두 공정으로 나누어지는데, 일반적인 전방압출과 후방압출에 대해서는 많은 연구⁽¹⁻⁵⁾가 이루어져 있으나 steering yoke의 성형을 위한 구체적인 공정설계에 대한 자료는 아직까지 공개되고 있지 않다.

2. 유한요소해석

2. 1 적용 이론식

소성가공에 대한 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 3D를 이용하여 steering yoke 단조 성형에 대한 해석을 수행하였다.

DEFORM 3D는 다음과 같은 강점소성식을 사용하고 있다

$$\text{평형방정식 : } \sigma_{ij,j} = 0 \quad (1)$$

$$\text{적합방정식 : } \dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(\dot{u}_{i,j} + \dot{u}_{j,i}) \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_{i,i} = \dot{u}_{i,i} = 0$$

$$\text{구성방정식 : } \sigma'_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\epsilon}} \dot{\epsilon}_{ij} \quad (3)$$

$$\text{경계조건 : } \sigma'_{ij} n_i = F_j \text{ on } S_F \quad (4)$$

$$u_i = U_i \text{ on } S_U$$

여기서 σ'_{ij} 와 $\dot{\epsilon}_{ij}$ 는 각각 변형재료의 응력과 변형률 속도를 나타내고 $\bar{\sigma}$ 와 $\dot{\epsilon}$ 는 각각재료의 유효응력과 유효변형률 속도를 나타내고 있는데

$$\text{각각 } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2}{3}(\sigma'_{ij} \sigma'_{ij})} \text{와}$$

$$\dot{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij})} \text{ 정의되며, } F_j \text{는 재료의}$$

경계면에 걸리는 힘을, U_i 는 경계에서의 변형에서의 변형속도를 나타내고 있다. (1)~(4)식에 변분법을 적용하여 다음과 같은 약형(Weak form)을 구할 수 있다.

$$\int_v \left(\frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\epsilon}} \right) \delta \dot{\epsilon}_{ij} dV + \int_v K \dot{\epsilon}_v \delta \dot{\epsilon}_{ij} dV \quad (5)$$

$$- \int_{S_F} t_i \delta u_i dS = 0$$

V와 S는 각각 체적과 표면적을 나타내고, K는 패널티 상수를 나타낸다.

2. 2 해석결과 및 토론

yoke shaft는 전후, 좌우 대칭으로 되어 있으므로 원주 방향으로 전체의 1/4만을, 길이 방향으로 전방압출 성형이 주로 정상상태임을 감안하여 사용 요소수와 해석 시간의 최소화를 위하여 축부의 성형 길이가 실제 제품 길이의 약 1/3이 되도록 해석을 수행하였다. 소재는 강소성체로, 다이와 펀치는 강체로 가정하였으며, 마찰계수는 $\mu=0.1$ 로 하였다. 실험조건과 마찬가지로 두 단계의 공정을 거쳐 해석이 수행이 되는데 Fig.1은 이를 보여주고 있다.

Fig. 2는 첫 번째 공정에서 소재의 유효변형률과 유효응력을 나타낸다. 전반적으로 전방압출의 고유 특성인 정상상태 분포를 잘 보여주고 있다.

Fig. 3은 두 번째 공정의 최종단계에서 소재의 유효변형률과 유효응력을 나타내는데, 펀치와 접촉하는 부위에서 소재의 후방압출 유동으로 인하여 큰 변형률을 보여주며 전방압출시 단면적이 줄어드는 다이부에서 큰 응력을 보여준다.

Fig. 4는 두 번째 공정중 최종 단계에서 금형에 의해 소재에 작용하는 면압을 보여준다. 면압은 금형 일부분에서 재료의 항복강도에 가까운 값을 보여 주지만 전체적으로 탄성 범위에 머물고 있기 때문에 보강을 충분히 한다면 요구되는 정밀도를 만족할 수 있음을 알 수 있다.

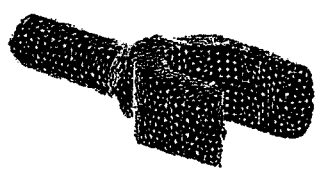
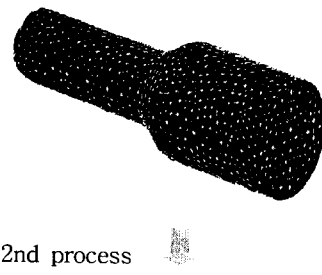
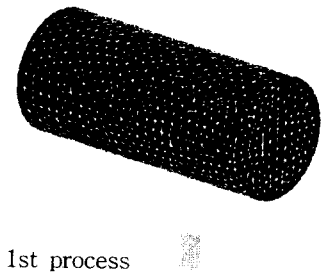
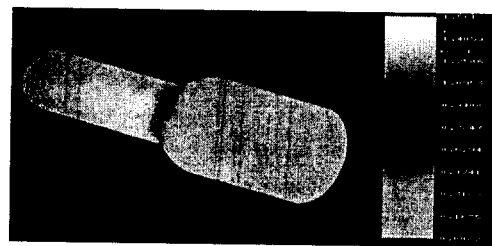
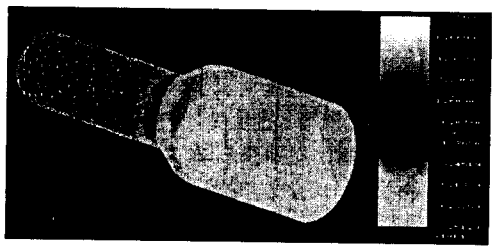


Fig. 1 Mesh Configuration

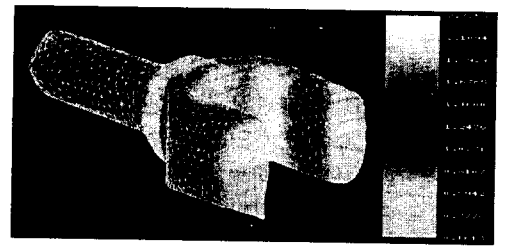


(a) distribution of effective strain

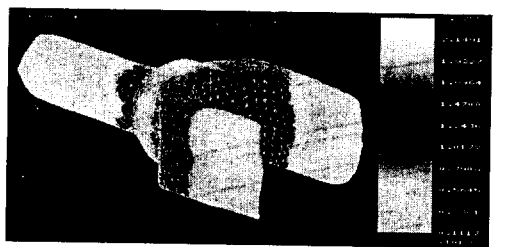


(b) distribution effective stress

Fig. 2 Distribution of Effective Strain Stress in Final Stage of 1st Process



(a) distribution of effective strain



(b) distribution effective stress

Fig. 3 Distribution of Effective Strain Stress in Final Stage of 2nd Process

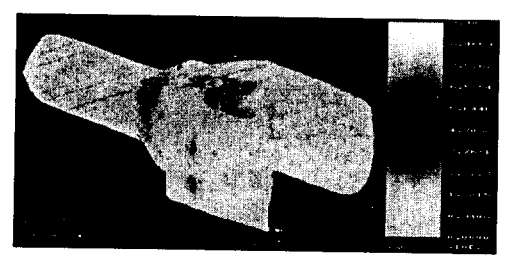


Fig. 4 Normal Pressure on the Workpiece in Final Stage of 2nd Process

3. 냉간단조 실험

steering yoke는 2단계의 공정을 거쳐 성형하며, 본 연구에서는 SM20C에 대한 실험을 수행하였다. Fig. 5 는 두 공정의 성형 실험을 거친 결과를 보여 주며, 첫 번째 단계에서는 주로 전방 압출 공정에 의한 축부 성형이 이루어지며 두 번째 공정에서 일종의 후방압출 공정에 의한 요크부 성형이 수행되게 된다. Fig. 6 은 초기 소재와 정밀냉간단조에 의해 성형된 steering yoke의 경도 측정 결과이다. 경도 측정 결과 단조 후에 yoke부와 shaft부에서 경도가 상승했음을 알 수 있는데, 이는 전방 압출과 후방 압출 공정이 진

행되면서 성형부 재료의 밀도가 증가했기 때문이다.

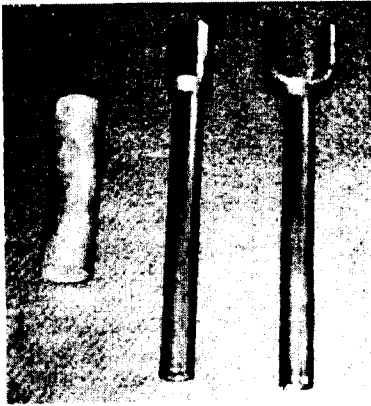
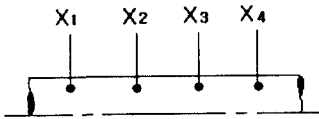
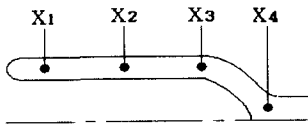


Fig. 5 Result of Precision Cold Forging

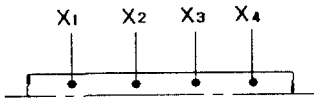
Material



Yoke



Shaft



구분	규격	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Material	HRB	64	62	61	63
Yoke		90	95	100	97
Shaft		89	90	90	91

Fig. 6 Hardness of Steering Yoke

4. 결론

steering yoke 성형에 대하여 유한요소법을 이용한 수치해석과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) Steering Yoke 성형의 첫 번째 공정인 축부 성형시 정상상태 분포를 나타낸다.
- (2) 두 번째 공정의 Yoke부 성형시 편차와 접촉하는 부위에서 큰 변형률을 나타내며, 응력은 단면적이 줄어드는 다이부에서 가장 크게 나타난다.
- (3) 금형의 면압은 전체적으로 탄성범위에 머물고 있기 때문에 충분한 보강을 통하여 요구되는 정밀도를 만족할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) C.C.Chen, S.I. Oh and S.Kobayashi, "Ductile Fracture in Axisymmetric Extrusion and Drawing", -Patr2, Workability in extrusion and drawing, Trans. ASME, J. of Eng. for Ind., Vol.101, pp. 36-44(1979).
- (2) D.Y.Yang, B.S.Oh and C.H.Lee, "Rigid-plastic finite element analysis of axisymmetric forward extrusion", Korea Soc. Mech. Eng., Vol.9, No.4, pp. 452-462(1985).
- (3) D.Y.Yang, C.M.Lee and J.H.Yoon, "Finite Element Analysis of Steady-state Three-dimensional Extrusion of Sections Through curved Dies", Int. J. Mech. Sci., Vol.31, No.2, pp. 145-156(1989).
- (4) D.Y.Yang, and C.H.Han, "Backward Extrusion of Internally Shaped Tubes from Round Billets", Trans. ASME, Ser.B, Vol.106, pp.143-194(1984).
- (5) M.Kiuchi and H.K.Chung, "Numerical Simulation of Formation of Plastic and Dead Zones in Axisymmetric Extrusion Process", J. of JSTP, Vol.31, No.359, pp.1426-1432(1990).