

## 다단단조 CV JOINT 생산품의 유한요소해석

박광수<sup>1</sup>, 김봉준<sup>1</sup>, 권승오<sup>1</sup>, 문영훈<sup>1</sup>

### Process analysis of multi-stage forging by using finite element method

K. S. Park, B. J. Kim, S. O. Kwon, Y. H. Moon

#### Abstract

The outer race of CV(constant velocity) joint is an important load-supporting automotive part, which transmits torque between the transmission gear box and driving wheel. The outer race is difficult to forge because its shape is very complicated and the required dimensional tolerances are very small. Traditional warm and cold forging methods have their own limitations to produce such a complex shaped part; warm forging requires complex system with relatively higher manufacturing cost, while cold forging is not applicable to materials with limited formability. Therefore, multistage forging may be advantageous to produce complex shaped parts. In order to build a multistage forging system, it is necessary to characterize mechanical properties in response to system design parameters such as temperature, forging speed and reduction. For the analysis of formability of multistage forging process, finite element method(FEM) has been used for the process analysis. As a model case, a constant velocity (CV) joint forging process is analyzed by FEM, since CV joint has a complex shape and also its required dimensional tolerances are very tight. The data acquired by FEM is compared with operational forging data obtained from an industrial production line. Based on this comparative analysis, multistage forging process for CV joints is proposed.

**Key Words** : CV Joint, Outer Race, Ball Groove, Warm Forging, Cold Forging

#### 1. 서론

등속조인트는 자동차 구동축과 수동축과의 동력 전달에서 회전속도의 변동 없이 두 축의 접점을 축의 교차각의 2 등분선상에 있게 하여 등속으로 동력을 전달하는 자동차용 부품으로 외륜(Outer race), 내륜(Inner race) 및 볼(Ball)등이 정밀하게 결합되어 있기 때문에 특히 외륜의 Ball Groove 치수정밀도가 나쁠 경우 차량 회전시 떨림이나 이상음이 발생할 수 있어 높은 정밀도를 요구하는 부품이다[1].

등속조인트부품 중 하우징은 형상이 복잡하며 높은 정밀도 및 다단계의 성형공정이 요구되고

기계가공에 비용이 많이 소요되므로 가능한 한 최종제품에 가까운 형상으로 단조 성형하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

CV joint는 온간 4 공정과 냉간 2 공정으로 생산된다. 온간 4 공정을 거치는 동안 Billet의 형상이 CV Joint outer race의 형상으로 바뀌게 된다. 온간 4 공정의 온도는 Table 1에 나와있는 것 처럼 750°C의 온도에서 성형되고 냉간 2 공정은 Room temperature에서 성형된다. 본 연구에서는 실제 성형 공정에서 SAE8620H 강의 성형시 자주 발생하는 결합 요소를 찾고 공정변수를 변화시켜 최적의 성형조건을 찾으려 한다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀정형 및 금형가공 연구센터

# 교신저자 : yhmoon@pusan.ac.kr

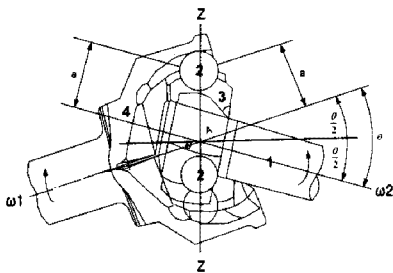
**Table 1.** Process conditions for FEM simulations.

Forging conditions	Forging 1	Forging 2	Forging 3	Forging 4	Forging 5
Velocity of punch down	95mm/s	95mm/s	85mm/s	110mm/s	70mm/s
Stroke	70mm	140mm	70mm	140mm	70,140mm
Workpiece temperature	20°C	750°C	250°C	500°C	750°C

## 2. CV joint outer race 성형 조건

### 2.1 Constant velocity joint

CV-Joint 는 엔진의 크랭크축에서 전달된 높은 토크를 차량 전륜 바퀴의 회전각에 영향을 받지 않고 전달하는 중요한 부품이다. 또한 6000rpm 이상에서도 소음과 진동이 없어야 하는 높은 정밀도가 요구되는 부품이다. Fig. 1 은 CV-Joint 의 개념도 이다. 회전하는 중에 회전각의 Z 축을 중심으로 2 등분선에 각속도  $\omega_1$  과  $\omega_2$  는 같아야 한다.



**Fig. 1** Technical concept of a CV joint

### 2.2 성형해석 조건

DEFORM 2D 와 3D 를 이용하여 CV-Joint 의 소성 거동을 확인하고, 금형과의 접촉에 의해 성형시 응력 분포등을 알아보기 위해 다양항 조건의 성형변수를 두어 성형해석을 하여 보았다.

Stroke 가 70mm 인 forging 1 조건이 실제 생산공정의 cold forging 2stage 이고, stroke 가 140mm 인 forging 2 조건이 실제 warm forging 4stage 이다. 나머지 forging 3~5 조건은 변수들을 변화시켜 성형해석을 하였고, 최적의 성형조건을 찾으려 한다. 성형해석 조건은 Table.1 과 같다. Fig.2 는 실제 생산공정을 통해 빌렛에서 CV-Joint 로 변화되어가는 사진이다.



(a) 4 stages of warm forging



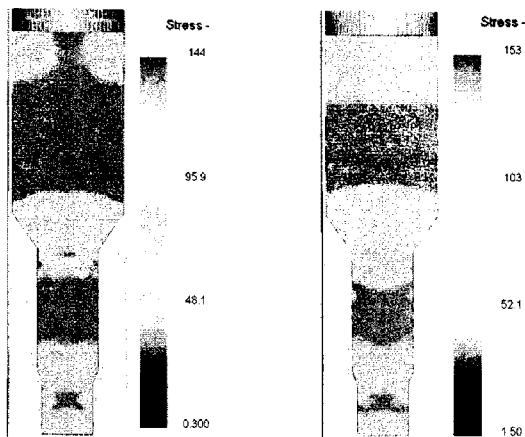
(b) 2 stages of cold forging

**Fig. 2** Multistage forging process of CV joint outer race

## 3. 실험 결과

### 3.1 단조조건 2 와 조건 4 의 비교연구 (step44)

Fig. 3 은 forging condition 2 와 forging condition 4 를 비교한 것이다. Forging 2 와 forging 4 는 velocity of punch down 과 온도가 다르다. forging 2 에 비해 forging 4 가 온도는 낮으나 변형속도는 더욱 빠른 조건이다. Step 44 에서 billet 을 축방향으로 압출하는 공정으로서 stress effective 가 forging 4 에서 더욱 많이 발생함을 알 수 있다. 따라서 750 도의 온도와 95mm/s 의 변형속도를 갖는 forging 2 의 조건이 forging 4 에 비해 적합함을 알 수 있다.



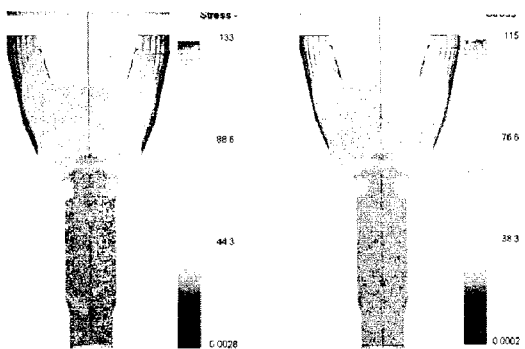
(a) forging 2 (b) forging 4

Fig. 3 Predicted strain effective at step 44 of forging 2 and forging 4 conditions

### 3.2 단조조건 2와 조건5의 비교연구 (step 80)

Fig.4 는 forging 2 와 forging 5 조건을 비교한 것이다. 온도는 750 도로 같으나 forging 5 의 Punch down 속도가 70mm 로서 forging 2 에 비해 느리다.

성형해석 결과 동일 스텝 80 에서 Stress effective 는 forging 5 가 forging 2 에 비해 낮음을 알 수 있다. 따라서 실제 온간 단조 공정의 Punch down 속도는 너무 빠르다고 생각된다.

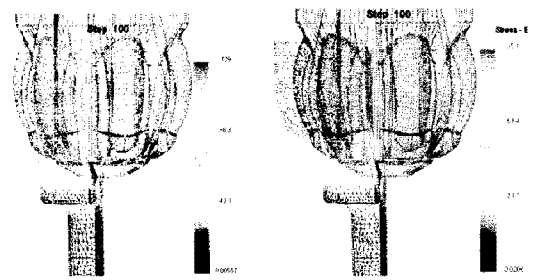


(a) forging 2 (b) forging 5

Fig. 4 Predicted strain effective at step 80 of forging 2 and forging 5 conditions

### 3.3 단조조건 1과 조건3의 비교연구 (step 100)

Fig.5 는 forging 1 조건과 forging 3 조건을 비교한 것이다. 실제 생산라인에서 stroke 70mm 의 cold forging 조건이 forging 1 조건이고 forging 3 조건은 온도를 250 도 가한것이다. FEM analysis 결과 stress effective 가 forging 3 가 작음을 알 수 있다.

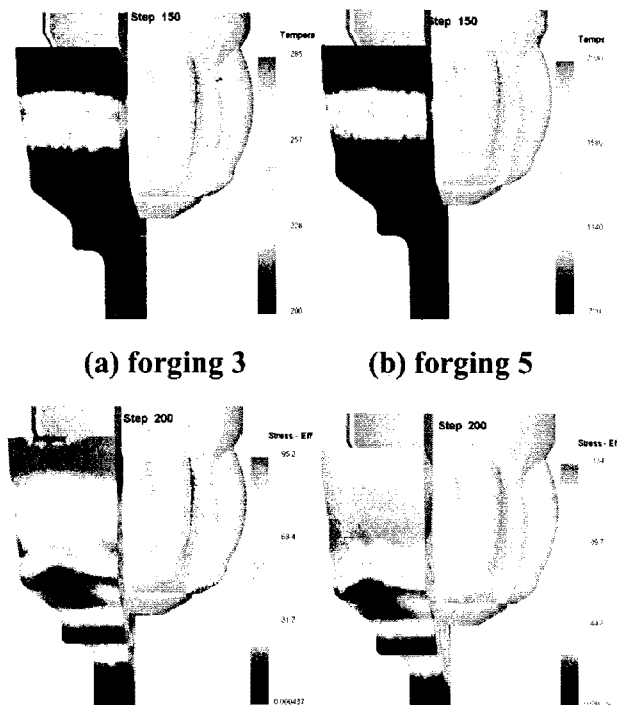


(a) forging 1 (b) forging 3

Fig. 5 Predicted strain effective at step 100 of forging 2 and forging 5 conditions

### 3.4. 단조조건 3과 조건5의 비교연구 (step 150)

Fig. 7 은 forging 3 조건과 5 조건을 비교한 것이다. (c)와 (d)에서 처럼 온도가 750°C 인 forging 5 조건이 250°C 의 forging 3 에 비해 낮은 strain effective 를 나타냈지만 변형속도가 너무 작아 deformation 중 defect 가 발생하였다. (a)와 (b)는 온도 분포를 나타낸 것이다.



(a) forging 3 (b) forging 5 (c) forging 3 (d) forging 5

Fig. 7 Predicted temperature at warm forging 3 and 5 in 3-dimensional FEM and Predicted strain effective at step 150 and 200 of forging 3 and forging 5 conditions

#### 4. 결 론

본 연구에서는 다단단조 CV-Joint 생산품의 유한요소해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 온간과 냉간단조 공정이 섞인 정밀한 형상을 갖는 다단단조 성형품을 FEM 을 통해 비교 분석하였다.
- (2) 실제 온간 단조공정인 forging 2 의 조건이 Punch down 속도와 온도 모두 적절함을 알 수 있었다.
- (3) 실제 냉간 단조공정인 forging 1 의 조건에 비해 250 도 온도의 forging 3 조건 에서 strain effective 가 현저히 낮았고 안정적인 성형이 이루어졌다.
- (4) 750 도에서 낮은 Punch down 속도를 갖는 forging condition 5 에서는 성형 결함이 발생하여 맞지 않는 조건임을 확인 할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 중소기업 신뢰성 향상 지원사업의 일환으로 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jan-Welm Biermann, 1999, Measurement System for CV Joint Efficiency, SAE 1999-01-0936
- [2] 조휘창, 박인송 “자동차 중고재생 등속조인트와 스티어링 기어박스의 성능과 활용 효과에 대한 연구” 한국자동차 공학회 논문집, 제 10 권, 제 5 호, 2002, pp199 ~ 205
- [3] Altan, T., Boulger, F.W.,Becker, J.R., Akger man, N. and Henning, H. J., 1973, "Forging Equipment, Materials, and Practices," MCIC HB 03, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, OH.
- [4] Pale, J.A., Shivpuri, R.and Altan, T., 1992, "Recent Developments in Tooling, search in Cold Forging of Complex Parts, "J of Mterials Processing Technology, Vol. 33,pp 1 ~ 29
- [5] Fujikawa, S., Yoshioka, H and Shimamura, S, 1992, "Cold and Warm Forging Applications in the Automotive Industry," J. of Materials Processing Technology, Vol. 35, pp.317 ~ 342
- [6] KOMATSU Ltd., 1982, "KOMATSU Warm and Cold Forging System : Constant Velocity Joint Forging Line," FESA-E-G-003
- [7] Kobayashi, S., Oh, S, I and Altan, T., 1989, "Metal Forming and the Finite Element Method," Oxford Univ. Press.