# 카운터샤프트 클러치 기어의 정밀성형 공정 개발

**김현필†** · **김용조**

한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과 · 경남대학교 기계자동화공학부

# Development of Precision Forging Process on the Clutch Gear of a Counter Shaft

H. P. Kim† · Y. J. Kim

Korea Polytechnic VII · Kyungnam University

**Abstract** : A counter shaft gear is an important part in the transmission system of vehicle. Its shape is relatively complicated and should meets high strength. Traditionally it has been manufactured as follows; the counter shaft gear has consisted of a clutch and helical body with teeth which are forged and machined for teeth respectively and then attached by frictional welding.

In this study, a new hot forging process was proposed and designed so that the counter shaft gear is formed as one body without divide it into two parts. Furthermore, the precision forging process has been developed for the clutch teeth without additional grinding.

**Key Words** : Counter shaft, Clutch gear, Spline teeth, Cold sizing, Hot forging

## 1. 서 론

카운터샤프트 기어(counter shaft gear)는 변속기 시스템 내에서 슬리브(sleeve)와 맞물려 동기작용에 의하여 기어의 물림을 변화시킴으로서 입력축과 출력축의 회전속도를 변속시키는 부품으로, 치형의 높은 강도와 정밀도가 요구되는 매우 중요한 부품이다.

카운터샤프트 기어의 제품 외경부에 헬리컬 치형이 가공되고 중간부에는 스플라인 형상의 클러치 치형이 형성되어 있어 정밀 단조하기에 매우 까다로운 형상이며, 또한 단조 후 클러치 기어 형상을 기계가공 하기에 매우 어려움이 있다. 이러한 카운터샤프트 기어의 스플라인 형상의 클러치 치형 가공이 어렵기 때문에 클러치 치형부와 외경 치형부를 따로 제작한 후 마찰용접하여 부품을 생산하여 왔다. 이로 인해제거 되는 소재량이 많고, 또한 기계가공 및 마찰용접에 필요한 시간과 비용이 높다.

기어 형상을 갖는 부품을 제조함에 있어서 제품의 강도 향상을 달성함과 동시에 원가를 절감하기 위한 다양한 연구들이 진행되어지고 있다.1-4) 최근에 Lee 등은 카운터샤프트 기어의 스플라인 치형부에 대해서 열간·냉간 복합단조를 통해 정밀 성형하는 연구를 수행하기도 하였다.5) 카운터샤프트 기어의 스플라인 형상부와 기어치형 형상부를 일체형으로 열간단조한 후 스플라인 치형부를 냉간사이징하여 마찰용접 공정과 치형부에 대한 연삭가공을 완전히 생략하도록 하는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

이전의 연구에서 카운터샤프트 기어 스플라인 치형부의 정밀성형이 가능하도록 하기 위한 열간단조 공정을 최적화하는 연구가 진행되었으며6), 본 연구에서는 개발된 열간단조품을 활용하여 카운터 샤프트의 클러치 기어를 냉간단조 및 냉간사이징을 통하여 일체형으로 정밀 단조하기 위한 공정을 개발

† 한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과
(김현필 kimhp58@kopo.ac.kr)
접수 : 2012. 07. 09. 채택 : 2012. 11. 30.

하였다.

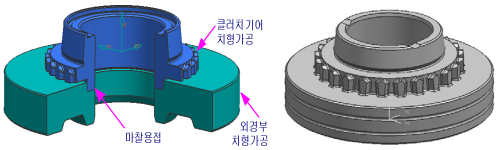
## 2. 카운터샤프트 성형공정 설계

### 2.1 냉간단조/사이징 공정 설계

카운터샤프트의 클러치 기어에 대한 정밀성형을 위해서는 열간단조 공정에서 치형부를 일정 형상으로 성형한 후, 높은 정밀도를 요구하는 치형부는 냉간 단조 및 사이징 공정을 거쳐 최종 제품을 얻을 수 있다. 본 개발에서는 클러치 기어부에 대한 냉간 사이징 형상설계를 수행하고, 치형의 냉간단조품 및 열간단조품 형상을 역설계 하였다.

Fig. 2에 Counter shaft gear의 냉간 단조를 위한 금형의 조립도를 나타내었고, Fig. 3에 냉간 사이징 공정의 금형 조립도를 나타내었다

냉간단조공정에서는 Fig. 2에서 나타낸바와 같이 열간단조된 카운터샤프트 기어의 단조품을 하형에 올려놓고 상형이 일정한 스트로크로 아래방향으로 힘을 가하면 스플라인 치형의 삼각 도입부가 성형되도록 하였다. 냉간 사이징 공정에서는 Fig. 3에서 나타낸바와 같이, 상형이 아래방향으로 내려오면, 사이드 핀이 안쪽으로 움직이면서 스플라인 치형부의 역구배 형상을 성형할 수 있도록 설계하였다.




(a) conventional type (b) in this paper

Fig. 1 Counter shaft gear

Table 1. Involute Spline Specifications

| Gear Type | Counter Shaft-5th |
|---|---|
| Outer Dia. | 51.35~51.5 |
| Root Dia. | 46.2~47.2 |
| Module | 2.0 |
| Pressure angle | 20° |
| Number of teeth | 24 |
| Pitch circle Dia. | 48 |
| Base circle Dia. | 45.105 |
| Radius of face / root edge | R0.5 / R0.5 |
| Modification coefficient | 0.6818 |

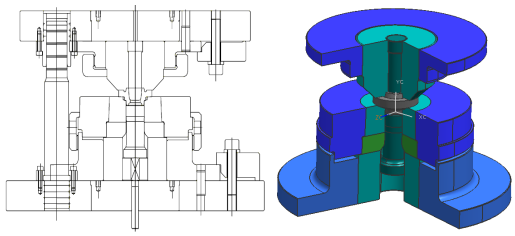


Fig. 2 Assembly of the cold forging dies

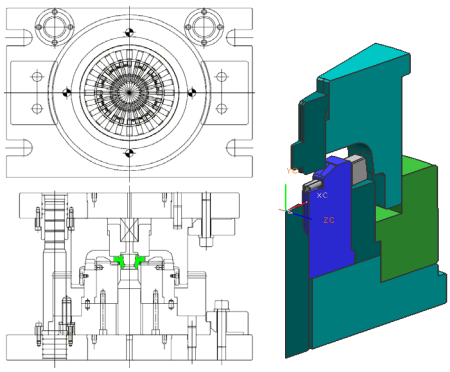


Fig. 3 Assembly of the cold sizing dies

## 3. 냉간단조/사이징 공정 해석

### 3.1 시뮬레이션 조건

카운터샤프트 기어의 클러치 치형부 정밀단조 공정해석 및 금형의 응력 해석은 DEFORM-3D를 활용하였으며, 해석 조건을 Table 2에 나타내었다. 카운터샤프트 기어의 특성을 고려하여 15° 형상에 대한 대칭 조건을 주었다. 금형과 소재의 접촉면에 일정 전단마찰 법칙을 적용하였으며, 마찰계수는 m=0.12로 선택하였다. 금형사이의 마찰계수는 쿨롱마찰계수 μ=0.2를 적용하였다. SCR420H 소재 금형 소재에 대한 물성치는 DEFORM-3D DATA를 활용하였다.

Table 2. Condition of FE analysis

| Item | Description |
|---|---|
| Material | SCR420H |
| Flow stress | DEFORM Library |
| Material temperature(℃) | 20 |
| Die temperature (℃) | 20 |
| Friction | Constant shear(m=0.12) |
| Boundary condition | 15°symmetric |

### 3.2 냉간단조 공정 해석결과

Fig. 4에 열간단조품의 치형 형상(a)과 냉간단조 공정 해석에 의한 치형부의 유효변형률 분포(b) 및 유효응력 분포(c)를 나타내었다. 유효변형률은 클러치기어의 삼각형상에서 크게 발생하며, 또한 클러치기어의 바닥면에 1.7정도의 유효변형률이 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다. 최대 유효응력은 클러치기어의 삼각형 부와 치형 바닥부에 집중되어 나타났다.

FE해석 결과로부터 냉간단조 공정에서 작용하는 하중을 예측하였으며, 필요한 하중은 약 800kN(81ton)정도로 예측되었다(Fig. 5).

성형이 완료된 후 금형의 탄성해석결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림(a)에서 상형의 최대 인장, 압축 응력은 각 400MPa 및 -600MPa 정도로 나타났으며, 상형펀치에 최대 압축응력이 작용하는 것을 확인할 수 있다. 그림(b)에서 하형의 치형성형 금형에서 볼록한 형상(凸)으로 치면에 접촉하는 부분은 -800MPa 정도의 압축응력이 발생하지만, 오목한 형상(凹)으로 치형과 접촉하는 부분은 1300MPa 정도의 강한 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있다.

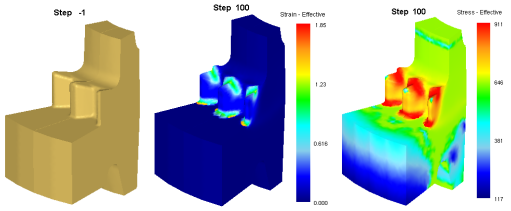
Fig. 7에 상형 펀치와 하형치형 금형의 탄성변형량을 나타내었다. 상형 펀치의 경우 약 0.056mm 정도의 최대 변형량이 예측되었으며, 상형 펀치는 미세한 탄성변형이 발생하더라도 단조 후 클러치 치형의 정밀도에는 아무런 영향을 거의 미치지 않으므로 금형설계에 반영하지 않았다. 하형의 치형 성형금형에서 치형과 직접 접촉하는 영역에서는 탄성변형이 약 0.028mm 정도로 변형량이 예측되었다. 이러한 치수는 치형의 정밀도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 금형설계에 치수를 반영하여 주었다.

### 3.3 냉간사이징 공정 해석결과

냉간단조 공정을 거친 후의 단조품은 열처리 공정을 거치지 않고, 바로 치형부 냉간사이징 되어진다. 따라서 사이징 하기 이전에 이미 상당한 량의 유효변형률 분포를 나타내고 있으며, 냉간사이징이 진행되면서 치형에 보다 큰 변형률이 발생하게 된다(Fig. 8(a)). 스플라인 치면과 치 뿌리부에 큰 변형률 분포를 나타내는 것을 확인하였으며, 이 영역에서 조직이 상당히 치밀해지고 이로 인해 치형의 강도향상을 가져올 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 8(b)에서 치형의 전체적으로 큰 응력 분포를 나타내고 있다.

해석 결과로부터 도출되어진 냉간사이징 하중을 그림 Fig. 9에 나타내었다. 해석결과에서 약 300ton의 단조하중이 작용되는 것으로 예측되었다.

카운터샤프트 기어의 냉간사이징 공정에 대한 금형의 탄성해석결과를 수행하였으며, Fig. 10에 내었다. 최대 응력은 하형의 사이드 핀에 집중되어 작용되는 것을 알 수 있으며, 가이드핀에는 최대 630MPa의 강한 압축응력이 발생하며, 0.09mm 정도의 탄성변형이 발생하는 것으로 나타났다.




(a)hot forged (b)effective strain (c)effective stress

Fig. 4 Result of the FE analysis for cold forging

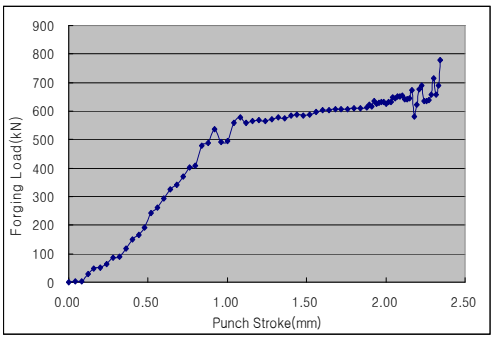
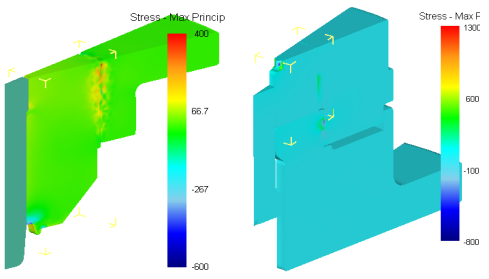
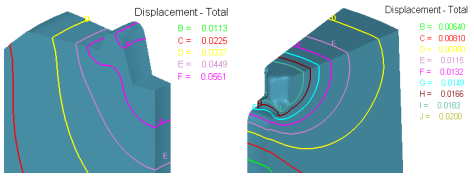



Fig. 5 Forging load estimated from FE analysis



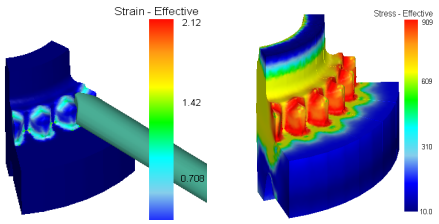

(a) upper dies (b) lower dies

Fig. 6 Distribution of die stresses




(a) upper punch (b) lower teeth die

Fig. 7. Elastic deformation estimated from FE analysis




(a)effective strain (b)effective stress

Fig. 8 Result of FE analysis for cold sizing

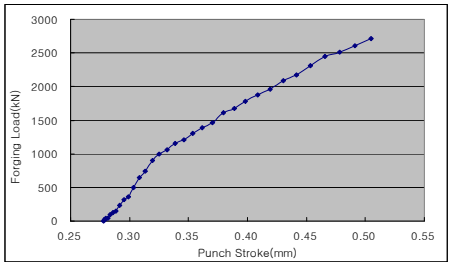
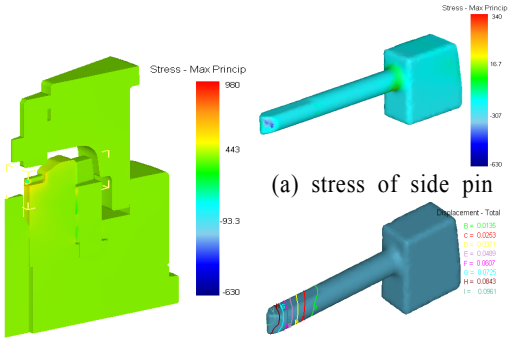



Fig. 9 Forging Load estimated from FE analysis for cold sizing




(a) stress distribution (c) elastic deformation

(a) stress of side pin

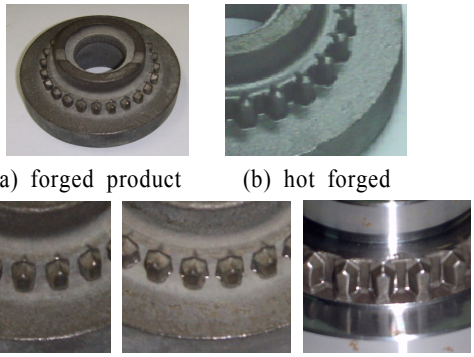
Fig. 10 Result of FE analysis for cold sizing

## 4. 시험 및 분석

### 4.1 카운터샤프트 기어 냉간 단조

앞선 연구에서 얻어진 열간단조품에 노멀라이징(normalizing) 열처리 및 표면 윤활처리를 한 후 카운터샤프트 기어의 냉간단조 및 냉간사이징 시제품을 제작하였다(Fig. 11). 냉간단조품 클러치 치형의 도입부 형상이 완전히 성형되어 있는 것을 확인할 수 있고(c), 냉간사이징 제품에서는 클러치 치형 측면부의 역구배 형상이 완전히 성형되는 것을 확인할 수 있다(d).

Fig. 12에 냉간 단조품의 금속유동선(metal flow)을 나타내었다. 냉간 단조 및 사이징 과정을 거치면서 클러치기어의 스플라인 치형부의 금속유동선이 조밀하게 형성되어져 있음을 확인할 수 있으며, 일반 가공품에 비해 피로특성이 상당히 향상될 것으로 판단되어 진다.



(a) forged product (b) hot forged

(c) cold forged (d) cold sized (e) machined

Fig. 11 Forged product of counter shaft gear

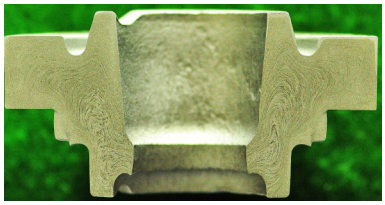
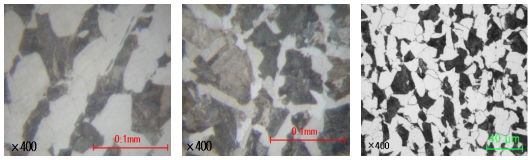


Fig. 12 Metal flow of the forged counter shaft gear

4.2 조직 분석

SCR420H 원소재 및 단조품의 미세조직을 관찰하였으며, Fig. 13에 나타내었다. 원소재의 미세조직(a)은 압출방향에 따라 펄라이트와 페라이트가 층을 이루며 방향성을 띄고 있다. 이 조직은 열간단조 후 열처리 과정에서 오스테나이트 상에서 페라이트와 펄라이트의 복합상으로 변태되며, 조직이 치밀해진다(b). 이 후 냉간 단조 및 사이징 과정에서 치형부

영역의 조직이 보다 치밀해 지며, 기계적 특성 향상에 기여할 것으로 예측할 수 있다.



(a)raw material (b)hot forged (c) cold forged

Fig. 13 Micro-structure of raw material and forged part

### 4.3 경도 분석

본 개발에서는 SCR420H 원소재를 사용하여 카운터샤프트 기어의 정밀 단조기술을 개발하였으며, 원소재 절단 => 열간단조 => 노멀라이징 => 냉간단조 => 냉간사이징 공정을 통해 최종 단조품을 완성하였다. 각 공정에 대한 경도시험을 실시하였으며, Fig. 14에 경도시험 위치 및 측정 결과를 나타내었다.

SCR420H 원소재의 경도는 평균 브리넬경도(HB) 기준으로 161.4로 측정되었으며, 열간단조품의 경도는 171.6으로 약간 더 높게 나타났다. 이후 노멀라이징 열처리 이후 147.8 정도로 균질화되었다가 냉간단조 및 사이징 공정을 거치면서 가공경화에 의해 경도값이 상당히 향상되는 것을 알 수 있다. 특히 많은 변형을 일으키는 치형부의 경도가 256으로 가장 높고 단조품의 심부로 갈수록 경도값이 낮아지며, 중심부에서 내경부에 이르기까지 203~209 정도로 비슷한 분포를 나타내고 있다.

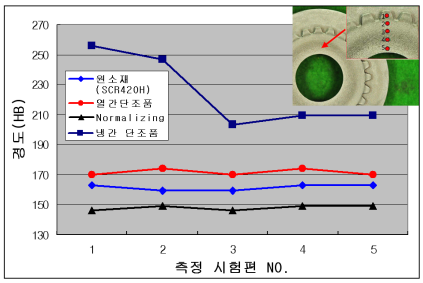



Fig. 14 Test result of brinell hardness

## 5. 결 론

카운터샤프트의 클러치기어 정밀성형 공정 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 카운터샤프트 기어의 클러치 치형부 정밀성형을 위해 냉간단조, 냉간사이징 공정에 대한 3차원 시뮬레이션을 수행하였으며, 단조금형 해석을 통하여 금형에서 응력이 집중되는 부분을 확인하였고, 탄성 변형량을 금형설계에 반영하였다.
2) 해석 결과를 반영하여 금형을 제작하고 냉간단조/사이징 단조 시험을 수행하였으며, 스플라인 치형이 정밀하게 성형되어 지면서 금속유동선이 양호하게 형성되는 단조품을 얻을 수 있었다.
3) 원소재와 열간단조품 및 냉간사이징의 단면부 미세조직 시험을 통해 페라이트와 펄라이트 조직의 복합상 조직을 확인할 수 있었고, 매우 양호한 형태의 금속조직을 얻을 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청의 2009년도 산학공동기술개발지원사업(00035426)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 참고문헌

1) Dean, T. A., "The net-shape forming of gears", Materials and Design, Vol. 21. pp. 271-278, 2000.
2) 박상수, 김병민, 이정민, "내 치형 드럼클러치의 냉간 단조 공정 설계", 한국정밀공학회지, Vol. 22. pp.30-37, 2005.
3) 김성현, 이호용, "중공축 소재를 이용한 전후방 복합압출의 성형특성", 소성가공학회지, Vol. 14. pp.772-778. 2005.
4) 왕창범, 임성주, 박용복, "중공축 내접 스플라인 성형을 위한 설계변수의 영향", 소성가공학회지, Vol. 15. pp.512-517
5) 이광오, 김정민, 제진수, 강성수, "복합단조공법을 이용한 자동차 트랜스미션용 클러치 기어 개발" 한국정밀공학회지, Vol. 23. pp. 185-192, 2006.
6) 김현필, 김현수, 김용조, “카운터샤프트 기어의 스플라인 치형 정밀 성형을 위한 열간단조 공정에 관한 연구”, 한국금형공학회, 2010 하계학술대회 논문집, pp.45-50.