

# 윤활제의 윤활특성에 대한 베벨기어의 온간단조 성형

박태준\* · 정덕진\*\* · 김동진\*\*\* · 김병민\*\*\*

## Warm Forging of a Bevel Gear on the Lubricating Characteristics of Lubricants

T. J. Park, D. J. Jung, D. J. Kim, and B. M. Kim

### Abstract

Lubricating characteristics in the warm forging have influence on forgeability of products. but Research on deformation characteristic of warm forging on the lubricant and lubricating method lack. This paper deform a bevel gear by warm forging and evaluate deformation loads and quality of products by each lubricants and lubricating method using oil-based lubricants(Soy, Oildag) and water-based lubricants(Deltaforge #31, Renite S-26-X, Deltaglaze #151). In conclusion, the less a deformation load by lubricants the more improvement a quality of product in manufacture of a bevel gear and water-based lubricants in the warm forging reduce a deformation load and improve a quality of products. Especially, Deltaforge #31 have excellent characteristic in the warm forging.

**Key Words** : Warm Forging, Bevel Gear, Lubricant, Lubricating Test, Lubricant Test

### 1. 서론

냉간 단조 및 열간 단조의 중간온도에서 성형되는 온간단조 방법은 열간단조에 비해 낮은 온도에서 성형되기 때문에 산화피막의 발생이 거의 없으며, 고온 가열에 따른 치수변형이 적기 때문에 정밀도가 우수한 제품의 성형이 가능하다. 또한 냉간단조에 비해 온간단조의 온도 영역에서는 소재의 변형저항이 낮으므로 성형한계를 증가시킬 수 있다. 최근의 정밀단조 기술은 고품질, 복잡한 형상 및 향상된 기계적 성질의 제품을 생산하기 위해 온간단조에 의해 고정밀의 제품을 생산하고 있다. 특히, 기어(Gear) 류의 온간단조 제품은 단류선의 절단이 없어 강도를 향상시킬 수 있으며, 생산속도의 증가 및 소재

손실을 줄일 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 복잡한 형상을 가진 기어의 온간단조 성형공정 설계에는 제품 성형 공정수, 소재 및 금형의 초기 가열온도, 성형속도, 윤활제등의 공정변수가 고려되어야 한다. 이중 윤활제는 열간가공에서는 다른 공정 변수에 비해 제품의 성형성에 직접적으로 영향을 미치지 않지만 온간가공에서는 윤활제의 특성에 따라 제품의 성형성에 크게 영향을 미친다. 하지만, 이전의 연구에서는 수용성 및 유용성 윤활제에 대해 금형과 소재에 분사하여 성형성 및 금형수명에 대해 단편적으로 연구되어 왔으며, 윤활제와 윤활방식에 따른 온간단조에서의 성형특성에 대한 연구는 미비한 실정이었다.<sup>(1-2)</sup>

\* 부산대학교 정밀기계과  
\*\* (주)풍산 기술 연구소  
\*\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

따라서, 본 연구에서는 복잡한 형상을 가진 베벨기어를 온간단조를 통해 성형하고, 온간 및 열간 단조에서 널리 사용되고 있는 유용성 윤활제(Soy, Oildag)와 수용성 윤활제(Deltaforge #31, Renite S-26-X, Deltaglaze #151)를 사용하여 각 윤활제와 윤활방식에 따라 베벨기어의 성형하중과 정밀도를 비교, 평가하여 온간단조에서의 베벨기어를 성형하는데 적합한 윤활제 및 윤활방식을 제시하였다.

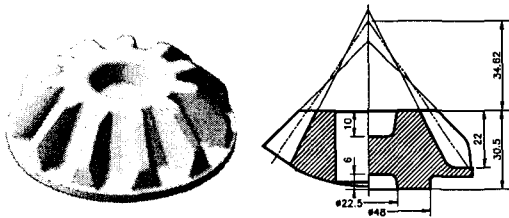


Fig. 1 A shape and forged drawing of bevel gear

## 2. 베벨기어의 온간단조

베벨기어는 자동차 내부의 차동기어 장치에 사용되는 제품으로, 사이드 기어와 사이드 피니언을 한 쌍으로하여 변속기에서 감속된 회전력을 좌·우 차축에 분배하는 역할을 하며, 치선이 직선이고 원뿔 꼭지점으로 향해 있는 베벨기어를 직선형 베벨기어라고 한다. 본 연구에서 수행할 베벨기어는 직선형 베벨기어로서 압력각이 22.5° 이고, 모듈이 6.5, 잇수가 11개인 피니언 기어를 대상으로 연구를 수행하였다. 연구를 수행할 베벨기어의 온간 단조도면은 Fig. 1과 같다. 베벨기어의 소재는 크롬-몰리브덴강인 SCM 420H를 사용하였으며, 성형할 금형의 소재는 열간 금형강인 SKD 61소재를 사용하였다. 베벨기어를 온간단조로 성형하기 위한 성형공정은 지름이 45mm이고 높이가 66mm인 초기빌렛을 사용하여 먼저 절단면에 대한 편치의 파손 및 치수 정밀도를 위한 예비성형 공정과 최종 제품 성형 시 균일한 변형을 가하기 위한 예비성형공정으로 성형한 후 최종 제품을 성형하는 온간단조공정으로 구성된다. Fig. 2는 베벨기어를 온간단조로 성형하기 위한 공정 순서를 나타내었으며, Table 1은 베벨기어의 온간단조 성형조건을 나타내었다.

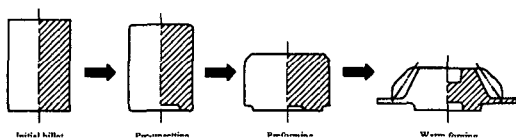


Fig. 2 Warm forging process sequences for bevel gear

Table 1 Deformation condition of bevel gear forged

	Billet	Die
Material	SCM 420H	SKD 61
Preheating Temperature(°C)	850	300
Deformation Velocity(mm/s)	70	

## 3. 윤활방식에 따른 베벨기어의 성형시험

### 3.1 윤활제 및 윤활방식 시험조건

금속성형 공정에서 윤활제는 금형의 마찰특성, 성형하중 및 금형의 마멸 등에 영향을 미치는 중요한 공정변수이다. 본 시험에서 베벨기어의 온간단조 성형에서 윤활제의 특성을 파악하기 위해서 열간 및 온간단조 성형 시 널리 사용되고 있는 유용성 윤활제와 수용성 윤활제를 사용하였다. 유용성 윤활제로는 Soy와 Oildag을 선정하고 수용성 윤활제로는 Deltaforge #31, Renite S-26-X와 Deltaglaze #151를 선정하여 베벨기어의 성형시험을 수행하였다. Fig. 3은 온간 링 압축 시험을 통해 파악된 각 윤활제의 마찰특성에 대해 나타내었다.

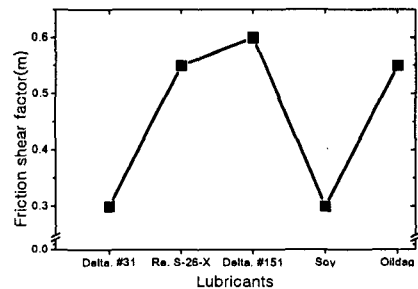


Fig. 3 Frictional shear factor for each lubricants at warm ring compression test

Table 2 Test conditions of lubricant and lubricating test

Classification		Die	Billet
Lubricant Test	Water Based	Deltaforge #31	None
		Renite S-26-X	
		Deltaglaze #151	
	Oil Based	Soy	
		Oildag	
Lubricating Test		Deltaforge #31	Soy
		Soy	Deltaforge #31
		Soy	Soy



Fig. 4 Products after lubricant test

금형에 각각의 윤활제를 윤활하여 각 윤활제의 윤활특성을 파악하였다. 또한, 금형과 소재에 유용성 윤활제를 윤활하는 방식, 금형에 수용성 윤활제를 윤활하고, 소재에는 유용성 윤활제를 윤활하는 방식과 금형에 유용성 윤활제를 윤활하고, 소재에 수용성 윤활제를 윤활하여 윤활방식에 따른 베벨기어의 온간단조 윤활특성을 파악하였다. Table 2에 베벨기어의 성형시험에 사용한 윤활조건을 나타내었다. 시험에 사용된 장비는 1,200톤 유압프레스를 사용하였으며, 각 윤활방법에 대하여 보다 정밀한 데이터를 확보하기 위해 다섯 번의 시험을 반복 수행하였다. Fig. 4는 금형과 소재의 각각의 윤활제로 윤활했을 때의 베벨기어 성형시험 한 후의 제품을 나타내었다.

### 3.2 시험 결과 및 고찰

#### 3.2.1 윤활제에 따른 베벨기어의 성형특성

세 종류의 수용성 윤활제와 두 종류의 유용성 윤활제에 대해 베벨기어의 온간단조 시험을 통해 윤활제 특성을 평가하였다. 윤활제에 대한 온간 베벨기어의 성형하중은 수용성 윤활제가 유용성 윤활제보다 낮은 성형하중 값을 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히, 수용성 윤활제 중에서 Deltaforge #31이 604톤으로 가장 낮은 것으로 나타났으며, Renite S-26-X가 625톤, Deltaglaze #151가 640톤의 성형하중을 나타내었다. 유용성 윤활제는 Oildag가 성형하중이 670톤으로 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 5). 유용성 윤활제가 수용성 윤활제에 비해 높은 성형하중을 나타내는 것은 수용성 윤활제는 금형의 가열온도에 의해 건조마찰을 하게 된다. 따라서, 성형이 진행되면서 금형과 소

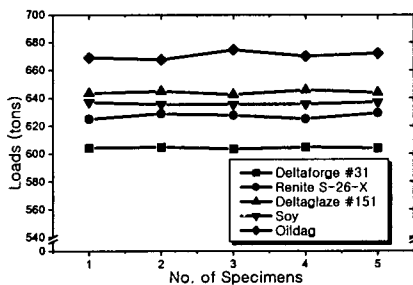


Fig. 5 Loads for bevel gear using warm forging



Fig. 6 Tooth corner profile for bevel gear used oil based lubricant

재의 마찰을 감소시키면서 윤활막이 파괴되어 금형 상에 잔류물이 거의 남지 않게 된다. 그러나, 유용성 윤활제는 오일이 유체상태로 남아 성형되면서 금형의 모서리에 잔류하게 된다. 이렇게 모서리 부에 남아있는 윤활제가 소재의 충만을 방해하기 때문에 모서리 부분을 성형하기 위해 많은 성형하중을 필요로 하는 것으로 판단되었다. Fig. 6은 유용성 윤활제로 성형한 베벨기어를 나타내었다. 그림에서 보여지듯이 치형 모서리 부분에 미충만(Unfilling) 되는 것을 알 수 있었다.

각 윤활제에 따라 성형된 베벨기어를 3차원 측정기를 이용하여 품질을 평가하였다. 기어의 진동과 소음의 주요 원인이 되는 치흡의 흔들림 오차를 비교해 보면 수용성 윤활제 Deltaforge #31과 Renite S-26-X 윤활제가 KS B 1405 기준 1급 수준이었으며, Deltaglaze #151은 2급, Soy는 3급, Oildag는 4급 기어 수준으로 나타났다. 또한 단일 피치 오차는 수용성 윤활제가 2급 기어 수준이었으며, 유용성 윤활제가 3급 수준으로 나타났다. Fig. 7에 윤활제로 성형된 베벨기어의 품질을 측정한 결과를 나타내었다.

이상의 결과를 토대로 성형하중과 품질은 상반된 관계를 가지는 것을 알 수 있었으며, 수용성 윤활제가 유용성 윤활제보다 성형하중이 낮고, 베벨기어의 품질이 우수한 것을 알 수 있었다. 특히, 수용성 윤활제 중 Deltaforge #31 윤활제가 온간단조에서 베벨기어를 성형하는데 가장 적합한 윤활제임을 알 수 있었다.

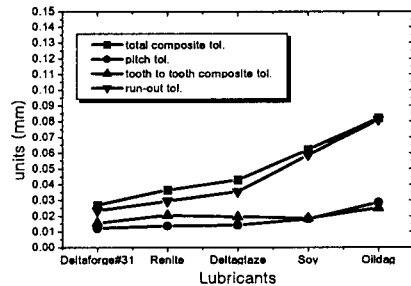


Fig. 7 Tolerances for bevel gear using warm forging

### 3.2.2 윤활방식에 따른 베벨기어의 성형특성

세 가지 윤활방식에 따른 베벨기어의 온간단조 성형 시험을 통해 성형하중 및 베벨기어의 품질을 평가하였다. 세 가지 윤활방식 중 금형에 수용성 윤활제인 Deltaforge #31을 윤활하고 소재에 유용성 윤활제인 Soy를 윤활했을 때 성형하중이 605톤으로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 소재에 Soy로 윤활하고, 금형에 Deltaforge #31로 윤활했을 때 성형하중은 630톤이었다. 또한 소재와 금형에 Soy로 윤활했을 때 성형하중이 645톤으로 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다(Fig. 8). 이러한 원인은 역시 유용성 윤활제가 베벨기어의 온간단조로 성형 시 금형 모서리에 잔류하기 때문에 성형하중이 유용성 윤활제로 윤활했을 때 증가하는 것으로 판단되었다.

세 가지 윤활방식에 따라 성형된 베벨기어의 품질을 3차원 측정기를 통해 평가하였다. 치흠의 흔들림 오차는 금형을 Deltaforge #31을 윤활하고 소재를 Soy로 성형했을 때 KS B 1405 기준으로 1급 수준이었으며, 금형을 Soy로 윤활하고, 소재를 Deltaforge #31로 윤활했을 때 3급 수준이었다. 금형과 소재를 Soy로 윤활했을 때는 5급 수준으로 품질이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 단일 피치 오차도 금형을 Deltaforge #31로 윤활하고, 소재를 Soy로 성형했을 때 1급 수준이고, 금형을 Soy로 윤활하

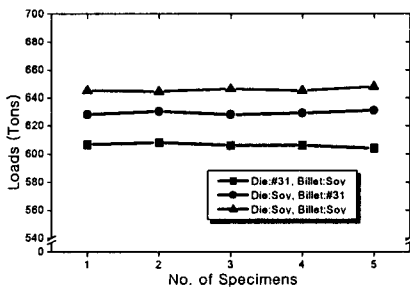


Fig. 8 Loads for bevel gear using warm forging

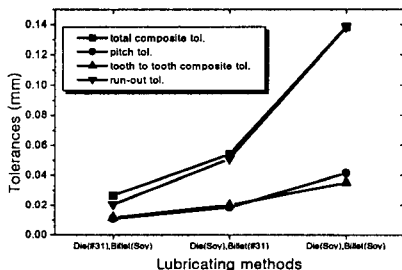


Fig. 9 Tolerances for bevel gear using warm forging

고, 소재를 Deltaforge #31로 윤활했을 때 2급 수준이었으며, 금형과 소재를 Soy로 윤활했을 때의 품질 수준은 4급으로 낮아지는 것을 알 수 있었다(Fig. 9).

이중 윤활제를 금형과 소재에 각각 윤활했을 때의 베벨기어의 성형하중과 품질을 평가한 결과, 수용성 윤활제를 금형에 윤활하고, 유용성 윤활제를 소재에 윤활했을 때 가장 좋은 것으로 나타났으며, 수용성 윤활제를 금형에만 윤활했을 때가 우수한 품질 수준 및 낮은 성형하중을 갖는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 윤활제 및 윤활방식에 따른 베벨기어의 온간단조 성형시험을 통해 성형된 베벨기어의 성형하중 및 품질을 비교, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 베벨기어의 온간단조 성형에서 성형하중이 높을수록 제품 품질이 낮고, 성형하중이 낮으면 품질수준이 우수한 것을 알 수 있었다.
- (2) 온간단조로 금형에 윤활하여 성형하중을 낮추고, 품질이 우수한 제품을 성형하는데 적합한 윤활제는 수용성 윤활제이고 특히, Deltaforge #31이 가장 우수한 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이 때 베벨기어의 품질 수준은 KS B 1405의 2급 수준임을 알 수 있었다
- (3) 이중 윤활제 간의 윤활방식은 금형에 수용성 윤활제로 윤활하고, 소재에 유용성 윤활제로 윤활했을 때 베벨기어의 온간단조의 성형하중이 낮고, 품질이 우수하였지만, 수용성 윤활제만 금형에 윤활하는 방식에 비해 품질이 낮은 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학기술재단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) T. A. Dean, 1985, "Concepts and practice in precision forging", 7th Int. Congress Cold Forging, pp. 15
- (2) 정덕진, 김동진, 김병민, 2001, "온간 단조에서 윤활 분사 방법에 따른 마찰 상수값의 평가", 한국소성가공학회지, 제10권, 제4호, pp. 319