

## 정밀 베벨 기어 금형개발

이광오\* · 진민호\*\* · 제진수\*\*\* · 강성수\*\*\*\*

### Development of Accurate Bevel Gear Die

K.O. Lee, M. H. Chin, J. S. Jae and S. S. Kang

#### Abstract

To develop bevel gear dies that have characteristics of high precision and enough life time, the technology of die manufacturing and design which increase the resistance of wear and fatigue is essentially needed. Here in the study, we have investigated several materials for dies and electrode. And, the most economical and suitable electrode material has been selected through the characteristic analysis of electrode materials such as copper, graphite and chromium copper. With the help of CAD/CAM/CAE, the total manufacturing system of high precision electrode for bevel gear has been established.

**Key Words :** Bevel Gear, Cold forging, Life time of die, Electro-discharge machining, Electrode, CAD/CAM

#### 1. 서론

국내 자동차 산업의 발달과 함께 냉간 단조 가공법은 대량 생산 및 정밀성형 가공법으로 중소기업 및 일부 대기업에서 오래 전부터 국내 산업계에 적용되어 지고 있는 공법이다.

일본 및 독일 등의 선진국에서는 BEVEL GEAR 나 HELICAL GEAR 등의 고난도 제품의 단조화에 성공하여 실 차량에 적용하고 있으나, 국내 단조 기술에 의한 치차 단조는 주로 외국 설계도면 및 금형 수입에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 보다 정밀한 베벨 기어 단조를 위해 정밀도

높은 금형 가공기술의 축적 및 금형 수명향상을 위한 공정설계, 금형 열처리 기술, 우수한 내마모성, 내피로성을 부여할 수 있는 금형 재료 선정에 대한 기술축적 및 실제 산업체로의 적용은 무엇보다 절실하다고 할 수 있다.

정밀 베벨 기어 금형을 생산하기 위해서 먼저 정밀도 높은 3D 모델링 기술을 확립하여, CAD/CAM 을 실현함으로써 가공 전극의 정밀도를 향상시키고, 뛰어난 내마모성을 가진 전극재료의 선정을 통하여 생산성 향상을 꾀하고자 하였다.

또한 높은 내마모성, 우수한 피로특성을 보이

\* Forging Solution

\*\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\*\* 경상대학교 수송기계공학부

\*\*\*\* 부산대학교 기계공학부

는 금형 재료의 개발 및 적용을 통하여 금형 수명을 향상시키는 연구를 수행하였다.

아래의 Fig.1 에 베벨 기어 금형 제작 Flow Chart 를 나타내었다.

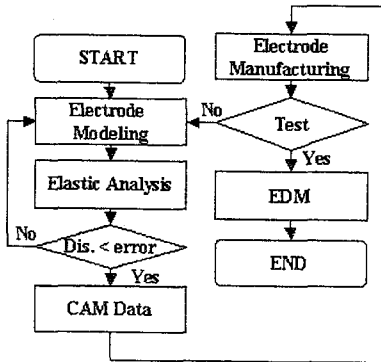


Fig. 1 Flow chart of die manufacturing

## 2. 전극 및 금형 소재의 검토

### 2.1 전극 소재의 검토

전극 재료로 널리 사용되고 있는 동, 크롬 동, 흑연에 대해 방전 가공시의 전극의 마모 비 및 가공성에 대해 검토해보았다. 아래의 Fig. 2 에 소재에 따른 전극의 마모량을 비교하였다.

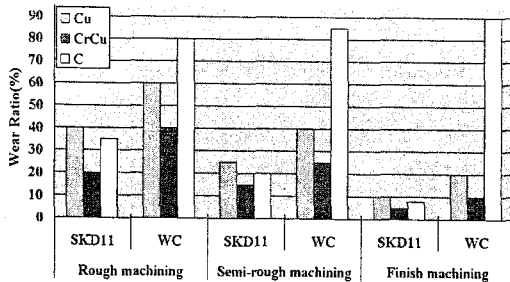


Fig. 2 Wear Ratio (%) of Electrode Materials

가공성의 측면에서 살펴보면 가장 우수한 가공성을 나타내는 전극재료는 흑연이었으나 위의 Fig. 2 에서 알 수 있듯이 마모율이 동 전극보다 33~35% 가량 더 많이 소모되는 것을 알 수 있다. 크롬동이 가장 뛰어난 내마모성을 보이나 경제적인 측면까지 고려하여 보면 동 전극이 가장 유리하다.

### 2.2 금형 소재의 검토

금형 수명 연장을 위하여 텅스텐 탄화물(WC)과 결합제(Co)의 배합비율을 바꾸어 가며, 금형 수명을

비교한 결과 M8NC 가 60,000 타로서 가장 우수한 것으로 나타났다. 각 재질에 대한 화학조성, 물리적 성질, 입도 등을 Fig. 3, 금형수명을 Fig.4 에 나타내었다.

	WC	Co	Hardness	T.R.S
	Wt%(4.1μm)	Wt%	(HRA)	(kgf/mm <sup>2</sup> )
	80	20	84.5 ± 0.4	280 ± 30

Fig. 3 (a) Chemical compositions and mechanical properties of G7

	WC	Co	Hardness	T.R.S
	Wt%(4.1μm)	Wt%	(HRA)	(kgf/mm <sup>2</sup> )
	85	15	86.8 ± 0.4	320 ± 30

Fig. 3 (b) Chemical compositions and mechanical properties of G6

	WC	Co	Hardness	T.R.S
	Wt%(13.1μm)	Wt%	(HRA)	(kgf/mm <sup>2</sup> )
	88	12	89.1 ± 0.2	374 ± 30

Fig. 3 (c) Chemical compositions and mechanical properties of G5

	WC	Co	Hardness	T.R.S
	Wt%(9.1μm)	Wt%	(HRA)	(kgf/mm <sup>2</sup> )
	78	22	82.8 ± 0.4	270 ± 30

Fig. 3 (d) Chemical compositions and mechanical properties of MH7

	WC	Co	Hardness	T.R.S
	Wt%(6.1μm)	23		
	75.85	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	84.5 ± 0.4	285 ± 30
	1.15			

Fig. 3 (e) Chemical compositions and mechanical properties of M8NC

대체로 결합제 비율이 높아질수록 수명이 증가 되었으나 결합제와 친화성이 큰 크롬 산화물(Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)을 소량 첨가한 M8NC 가 가장 수명이 높아 적합한 것으로 나타났다.

이는 결합제 함량이 많아 Toughness 가 높고,

결합제와 친화성이 큰 Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>에 의한 결합제의 강도도 비교적 높게 되어 Toughness가 향상이 되는 동시에 결합제의 강도도 높아진 결과로 판단된다.

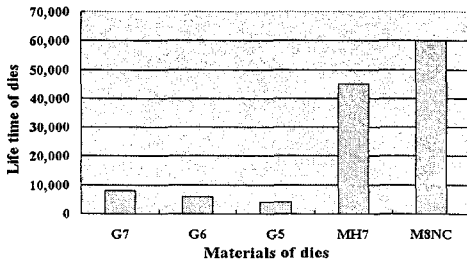


Fig. 4 Life time of die

### 3. 베벨 기어 금형 가공

#### 3.1 베벨 기어 모델링

본 연구에서는 베벨 기어 전극을 3D 모델링 프로그램인 Pro-Engineer를 사용하여 Modeling 하였다.

Involute Curve를 생성하기 위해 자체 개발한 GearGen<sup>(1)(2)(3)</sup>이라는 프로그램을 이용하여 기준 평면에서의 Involute 곡선에 대한 Data를 생성하여 이를 이용하여 AutoCAD 상에서 Involute 곡선을 생성한 다음 이 Involute Curve를 Pro-Engineer로 불러들여 3D Modeling을 실시하였다. 기어의 Crown과 Pattern의 수정은 GearGen을 통해 생성된 Involute 곡선에 대한 Data를 offset시키는 방법을 이용하였다.

#### 3.2 베벨 기어 금형 탄성해석

금형의 탄성 변형량을 알아보기 위해 DEFORM 3D 프로그램을 이용하여 탄성해석을 수행하였다.<sup>(4)(5)</sup> 성형해석을 수행 후 성형하중을 보간하여 상형에 미치는 하중을 추출하여 해석을 수행하였다.

베벨 기어 성형해석 및 탄성해석에 사용된 금형의 형상과 해석 조건 및 DEFORM3D 해석결과를 Fig.5, Table 1과 Fig.6에 나타내었다. Fig.6의 ①부분의 탄성 변형량이 가장 높은 값을 나타내었으며, 이를 금형 설계에 반영하였다.

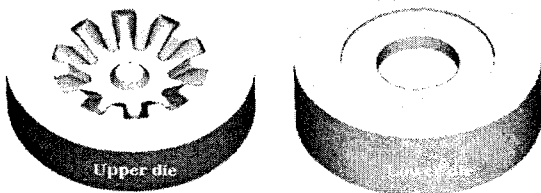


Fig. 5 The Geometry of die for analysis

Table 1 Analysis Conditions

	Forming Analysis	Elastic Analysis
Material	SCM420H	D50L
Flow Stress Eq	$\bar{\sigma} = 890\epsilon^{0.23}$ MPa	-
Elastic	-	529.6 Gpa
Poisson's ratio	-	0.23
Friction factor	0.1	-

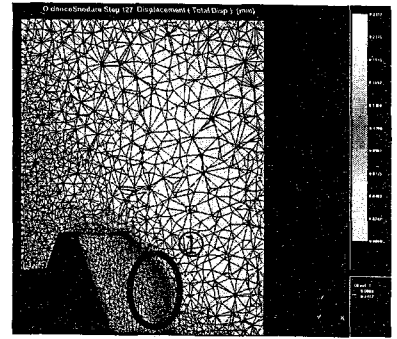


Fig. 6 The result of DEFORM 3D

#### 3.3 베벨 기어 전극 가공

Pro-Engineer로 모델링한 베벨기어 파일을 이용하여 CAM 전용 패키지인 PowerMill에서 CAM DATA를 산출하였다. Fig.7에 PowerMill을 사용하여 생성한 TOOL Path와 각 가공 단계후의 모양을 나타내었으며 Fig.8에 고속 가공기를 이용하여 가공한 전극을 나타내었다.

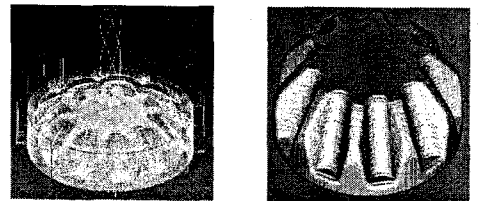


Fig. 7 (a) Rough cutting

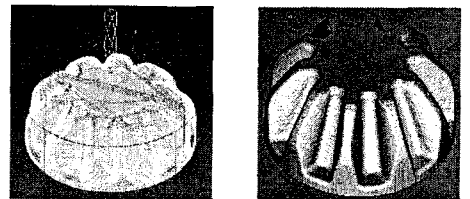


Fig. 7 (b) 2nd semi-rough cutting

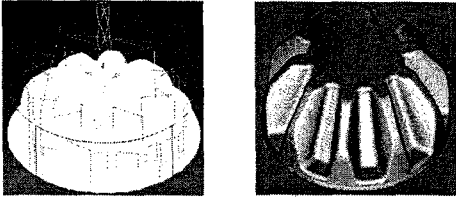


Fig. 7 (c) Finish cutting

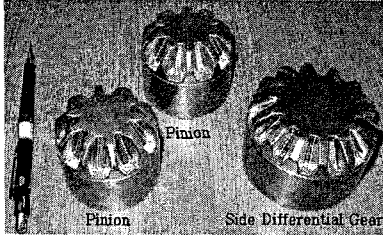


Fig. 8 Bevel gear electrode made by high-speed machining

### 3.4 베벨 기어 금형 가공

방전가공은 일본 SODICK 사의 AQ35L 방전 가공기를 사용하여 수행하였다. Fig.9 에 황삭 및 정삭 방전후의 초경 금형의 형상과 Fig.10 에 베벨 기어 완성 금형의 형상을 나타내었다.

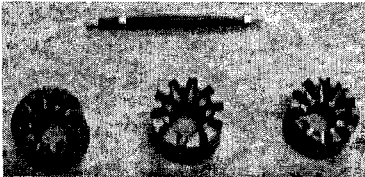


Fig. 9 (a) Rough machined cemented carbide die

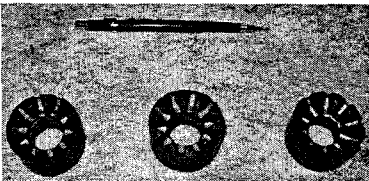


Fig. 9 (b) Finish machined cemented carbide die

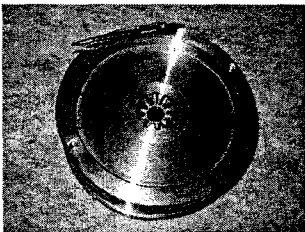


Fig. 10 Produced die

## 4. 결론

정밀 베벨 기어 금형 개발을 수행함에 있어 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 전극의 마모성, 가공성 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 동 전극을 가장 적합한 전극 소재로 선정하였다.

(2) MH7 과 M8NC 의 경우 종래의 재료에 비해 현저히 금형 수명이 증가되었다. 또한 MH7 에 비하여, M8NC 는 텅스텐 탄화물(WC)의 입도가 작아 졌으며, 결합제와 친화성이 큰 크롬 산화물( $Cr_3C_2$ )을 소량 첨가하여 가장 뛰어난 수명을 나타내었다.

(3) 베벨 기어의 3D 모델링 방법의 정립을 통해 CAD/CAM 이 가능하게 되어 정밀도 높은 전극 가공이 가능하게 되었으며, 이를 통해 금형의 정밀도 향상을 꾀할 수 있으며, 안정적인 전극 생산의 기틀을 마련하게 되었다.

## 참고 문헌

- (1) 宋地復, 裴元炳, 許景宰, 趙鏞柱, 機械設計工學, 普成閣, 1998.
- (2) J. R. Colbourne, The Geometry of Involute Gears, Springer-Verlag.
- (3) Dennis P.Townsend, Dudley's Gear Handbook 2nd ed., McGraw-Hill, 1992.
- (4) 강우진, "단조기어의 탄성회복 및 열처리 변형을 고려한 금형설계에 관한 연구", 부산대학교 석사학위 논문, 2003. 2.
- (5) 山下明雄, "프레스 금형에 있어서 초경 합금 재료의 선택방법", 프레스·몰드, pp.18~24, 1991. 8.