

# 플라스틱 기어용 비표준 기어 설계프로그램의 개발 Study on the Design Program for Non-standard Plastic Gear

허문범 · 함성훈 · 남원기 · 오세훈

M. B. Heo, S. H. Ham, W. K. Nam and S. H. Oh

(접수일 : 2011년 3월 18일, 수정일 : 2011년 04월 29일, 채택확정 : 2011년 05월 04일)

**Key Words** : Gear(기어), Non-Standard(비표준), Plastic(플라스틱), Design Program(설계 프로그램)

**Abstract** : Currently, plastic gear is widely used as parts of office equipment and industrial machines, because plastic substance has an advantage of light weight and possible to operate in oil-fewer conditions. However, under cyclic loadings, their occurred repetitive deformation due to weak tensile strength and bending stress rather than metal gear. Furthermore, they have a problem of attrition and breakage owing to frictional heat. For solving these problems, when plastic gear's opponents are metal gear, we should design that plastic gear's tooth be thick and metal gear's tooth be thin. In this research, we developed the program which developing tooth profile of non-standard gears automatically and calculating over-pin diameter for inspection after making gear.

## 1. 서 론

기어는 동력전달 장치의 주요기계요소로서 자동차, 산업기계, 농업기계, 철도, 선박, 항공기 및 각종 계측기기의 구동장치로 널리 사용되고 있고 다양화, 고속화, 고 효율화 및 정밀화 되고 있다<sup>1)</sup>. 기어의 재료로 흔히 금속이 사용되지만 최근에는 플라스틱 역시 기어의 재료로 많이 사용되고 있다. 플라스틱 기어는 대량생산이 가능하고, 무게가 가벼워 관성을 줄일 수 있기 때문에 기어의 효율성을 크게 향상시킬 수 있고, 무운할 상태에서 운전이 가능할 뿐만 아니라 진동흡수성 내식성, 내약품성에 대한 우수성이 인정되어<sup>2)</sup> 음향기기, OA기기, 식품설비 등 여러 분야에서 사용되고 있다. 그러나 플라스틱 기어의 재료로 흔히 사용되고 있는 폴리아세탈 등은 인장강도와 굽힘강도는 강의 약 1/8~1/10, 탄성계수는 강의 약 1/70~1/100<sup>3)</sup> 이기 때문에 금속에 비해 큰 반복변형이 발생하고, 반복변형에 의해 발생하는 열 때문에 치면온도가 상승하여 기계적강도가 감소하여, 결국에는 마멸 및 파손 문제가 발생하는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

따라서 플라스틱 기어의 마멸을 낮추고 내구성을 높이기 위하여 피니언 기어의 기초원상에 홀을 가공하거나<sup>5)</sup> 금속핀을 삽입하는 방법<sup>6)</sup> 등이 연구되고 있다. 그러나 이러한 방법은 플라스틱 기어를 사출 후에 재가공 하거나 중량이 증가하는 단점이 있다.

따라서 플라스틱 기어의 경우 상대 기어가 금속일 때는 강도균형을 맞추기 위해 비표준기어를 사용하는 것이 적당하다. 비표준 기어를 설계하는 방법 중에 전위를 이용하는 것은 치 두께를 쉽게 변화시킬 수 있는 설계법이다. 임의의 중심거리를 가지는 전위기어에서 양(+)<sup>7)</sup>의 전위를 준 기어는 기어치가 두꺼워지고 음(-)의 전위를 준 기어는 치 두께가 얇아지는데 치두께의 변화량  $\Delta t$ 는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$\Delta t = 2xm \tan \alpha \tag{1}$$

식 (1)에서  $x$ 는 전위계수,  $m$ 은 모듈,  $\alpha$ 는 압력각을 나타낸다. 따라서 양의 전위를 주면 플라스틱 기어의 치두께가 두꺼워지게 되고, 따라서 기어의 치가 변형하는 하는 변위량을 줄일 수 있다. 이는 플라스틱 기어의 반복변형을 억제 하는 효과를 가짐으로써 기어의 수명을 향상시키고 플라스틱 기어를 이용하는 유닛의 전체적인 신뢰성을 향상시키게 된다.

본 연구에서는 치높이 전위 계수를 이용하여 치폭을 변화시킨 표준기어를 대상으로 락편위 개념을 도

허문범(교신저자) : 중앙대학교 기계공학부  
E-mail : hmb@wm.cau.ac.kr Tel : 02-820-5314  
함성훈 : 동주대학교 자동차튜닝과  
남원기 : 중앙대학교 기계공학부 대학원  
오세훈 : 중앙대학교 기계공학부

입하여 비표준기어에 대한 수학적 모델을 제시하고, 비표준 기어치형과 그 상대 기어의 치형을 설계하기 위한 프로그램을 개발하였다. 또한 프로그램에 의해 설계된 기어를 실제 가공한 후 이론적 설계값과 가공 후 기어의 오차를 오버핀 측정법으로 측정 할 수 있도록 측정에 필요한 값들을 수치적으로 나타 낼 수 있게 하였다. 마지막으로 프로그램 상에서 제시하는 비표준기어의 물림 방정식을 계산하여 제시 하였다.

## 2. 기어 이론

### 2.1 표준 인볼루트 기어 프로파일

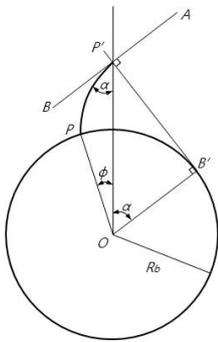


Fig. 1 Involute curve generation

Fig. 1은 이차원상에서 표준 인볼루트 곡선을 Fig. 2는 인볼루트 곡선을 이용한 기어의 치형을 나타낸다. 표준 인볼루트 곡선은 실을 점 P에서부터 점 P' 까지 풀어갈 때 실의 한점이 그리는 궤적이 인볼루트 곡선이다<sup>7)</sup>. 여기서 각  $\phi$ 를 공구 압력각( $\alpha$ )의 인볼루트 함수라고 하며  $inv \alpha$ 로 표시한다.

$$\phi = inv \alpha = \tan \alpha - \alpha \quad (2)$$

Fig. 2는 일반적인 기어 프로파일을 나타내는 그림 이고 이 그림에서 다음식이 성립한다.

$$\beta + \phi = \beta_t + \phi_t \quad (3)$$

$$\beta - \beta_t = \phi_t - \phi = inv \alpha_t - inv \alpha \quad (4)$$

피치원 반지름 R의 원을 따라 측정한 원주상의 이 두께 T/2에 해당하는 중심각도가  $\beta$  이고 반지름  $R_t$ 의 원을 따라 측정한 치두께  $T_t/2$ 에 해당하는 중심각도가  $\beta_t$ 이면 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{T}{2} = \beta R \quad (5)$$

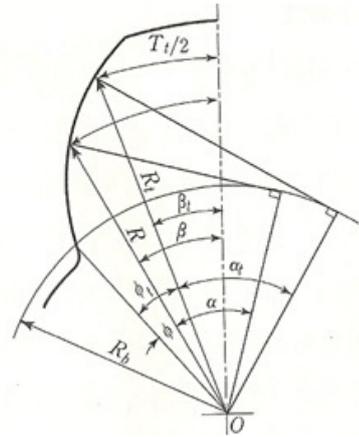


Fig. 2 Geometric drawing of gear tooth profile

$$\frac{T_t}{2} = \beta_t R_t \quad (5.1)$$

식 (4), (5), (5.1)로부터 아래의 식 (5)를 정리할 수 있다.

$$T_t = 2R_t \left( \frac{T}{2R} + inv \alpha - inv \alpha_t \right) \quad (6)$$

한편 치의 꼭대기에서 두께가 0이 되는 반경  $R_t$ 를 계산하는 경우  $T_t = 0$ 이 되어 다음의 관계식이 성립한다.

$$inv \alpha_t = \frac{T}{2R} + inv \alpha \quad (7)$$

위의 식 (6)에서  $\alpha_t$ 를 계산할 수 있다. 또한  $R_b = R \cos \alpha = R_t \cdot \cos \alpha_t$  이므로 다음의 식이 성립한다.

$$R_t = R \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_t} \quad (8)$$

### 2.2 전위기어

전위기어는 랙공구의 기준 피치선을 기어의 피치 원으로부터 적당량만큼 이동하여 절삭한 기어이다. 전위기어와 랙공구의 물림은 Fig. 3과 같다. 이러한 전위기어는 인볼루트 곡선이 기초원의 안쪽에 존재하지 않아서 기어 이의 모양이 기초원 내부로까지 파고 들어가는 언더컷을 방지 할 수 있고, 기어 이의 두께를 넓혀 굽힘강도를 증가시킴으로서 기어의 강도를 높일 수 있다<sup>8)</sup>. 또한 표준기어의 기어 잇수와 비틀림 각만으로는 중심거리를 조절하기 어려울 때 전위를 줌으로서 중심거리를 조절 할 수 있는 장점이 있다.

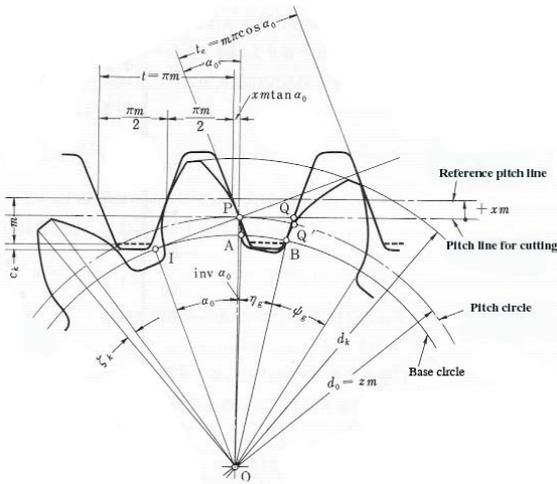


Fig. 3 Engagement of rack and shifted gear

### 3. 오버핀 기어 치두께 측정법

일반적인 기어 가공에 있어 가공기계는 기어치가 맞물려 돌아가는 피치원상에서 동일한 속도 요구를 만족하도록 제작되지만 가공기계의 운동기구가 복잡하기 때문에 필수적으로 여러가지 오차가 생기기 쉽고, 오차 측정시 특수한 측정장치가 필요하다. 특히 치두께가 표준기어와 다른 비표준 기어에서는 치두께를 측정하여 정밀도를 검사하는 방법을 사용할 수 있다.

Table 1 Equations for Calculating Ideal Pin Diameters

No.	Item	Sym-bol	Formula
1	Half Tooth Space Angle at Base Circle	$\frac{\psi}{2}$	$\left(\frac{\pi}{2z} - inv\alpha_0\right) - \frac{2x \tan\alpha_0}{z}$
2	The Pressure Angle at the Point Pin is Tangent to Tooth Surface	$\alpha$	$\cos^{-1}\left\{\frac{zm \cos\alpha_0}{(z+2x)m}\right\}$
3	The Pressure Angle at Pin Center	$\phi$	$\tan\alpha + \frac{\psi}{2}$
4	Ideal Pin Diameter	$d_p$	$zm \cos\alpha_0 \left(inv\phi + \frac{\psi}{2}\right)$

일반적으로 사용되는 기어 치두께 측정법인 오버핀 거리측정법은 짝수이의 경우 기어의 서로 마주보는 2개의 치홈에, 홀수개의 경우 마주보는 이에 가능한 가까운 홈에서 측정한다. 직경  $d_p$ 인 2개의 볼

를 넣고, 외기어 일 때는 최대외측 치수를, 내기어일 경우는 최소 내측 치수를 측정함으로써 기어의 정밀도를 측정하는 방법이다<sup>9)</sup>.

평기어를 대상으로 한 오버핀법에 있어서 핀(구슬)은 표준기어의 피치원에서 전위기어의  $d_0 + 2xm$  원상에서 기어에 접하는 것이 이상적이다. Fig. 4처럼 평기어에서는 상기의 원주상에서 접하는 핀의 직경을 구하는 방법을 Table 1에 표시한다.

여기에서 계산한 핀은 이상적인 것으로 이것은 특별히 제작하지 않으면 입수하기가 불가능하다. 이 경우는 계산된 핀의 직경에 가까운 것을 구입한 다음 정밀한 핀을 사용해 Over Pin치수를 측정하는 것이 현실적이다. 핀의 직경이 결정 되었다면 Table 2를 이용하여 오버핀 거리를 계산한다.

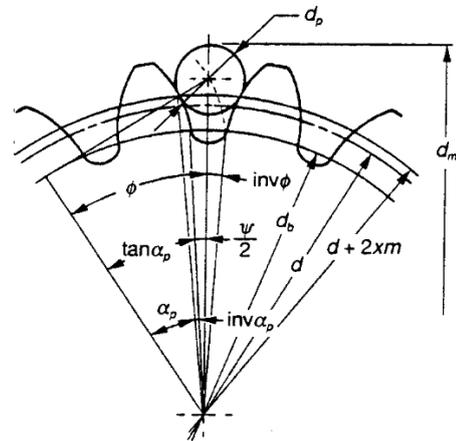


Fig. 4 Over Pins Diameter

Table 2 Equations for Over Pins Measurement for Spur Gears

No.	Item	Sym-bol	Formula
1	Actual Diameter of Pin	$d_p$	Same as Table 1
2	Involute Function $\Phi$	$inv\phi$	$\frac{d_p}{mz \cos\alpha_0} - \frac{\pi}{2z} + inv\alpha_0 + \frac{2x \tan\alpha_0}{z}$
3	Over Pins Measurement	$d_m$	Even Teeth $\frac{zm \cos\alpha_0}{\cos\phi} + d_p$
			Odd Teeth $\frac{zm \cos\alpha_0}{\cos\phi} \cos\frac{90^\circ}{z} + d_p$

## 4. 비표준기어 설계 프로그램

### 4.1 비표준기어의 생성방법

본 연구에서는 기어의 치두께를 변화시켜 치의 굽힘강도를 증가시킬 수 있는 평기어와 헬리컬 기어를 설계 하기위하여 인볼루트 치형을 이용하였다. 일반적으로 기어를 설계하는데 기초가 되는 치형은 인볼루트 치형과 사이클로이드 치형이 있다. 사이클로이드 치형은 마모가 적고 정밀한 회전을 하나 제작과 조립이 까다롭다. 반면 인볼루트 치형은 제작과 조립이 쉬워 일반적으로 이용된다.

플라스틱 기어의 치 두께를 늘여서 설계하기 위해서는 상대 기어인 구동기어의 치 두께를 줄여서 설계하는 것이 필수적이다. 비표준기어에서 치 두께를 조절하기 위해서 랙공구의 기준피치원과 기어의 기준 피치원 사이의 거리인 전위량을 조절하여 설계하는 것이 일반적이다. 전위량은  $xm[\text{mm}][\text{전위계수} \times \text{모듈}]$  로서 표시하며 이는 치의 변화없이 기준 피치원의 거리를 나타내는 것이다.

본 프로그램에서는 전위량으로 치두께를 변화시키는 것과 동시에, 기어 구동시 사용하는 랙의 영역을 변화시키는 랙편위량( $R_d$ )을 도입하여 치의 사용범위를 변화시킴으로서 기어의 치두께를 변화시킨다. Fig. 5에서 표준랙은 기준피치선에서 작용하고 ABCD의 사다리꼴로 이루어진다. 표준랙에서 기어 구동시 사용되는 면은  $\overline{AD}$ ,  $\overline{BC}$ , 높이  $h$ , 이뿌리면 길이는  $L$ 이다. 랙편위량( $R_d$ )을 도입하여 양의 방향으로 피치선을 준 비표준 기어는  $A'D'C'B'$ 의 사다리꼴로 이루어지고 구동시 사용 면은  $\overline{B'C'}$ ,  $\overline{A'D'}$ 로 높이  $h'$ 는 표준랙과 같으나 이뿌리면의 길이가 표준랙에 비해  $2xm \tan \alpha_0$ 만큼 짧은  $L'$ 가 된다.

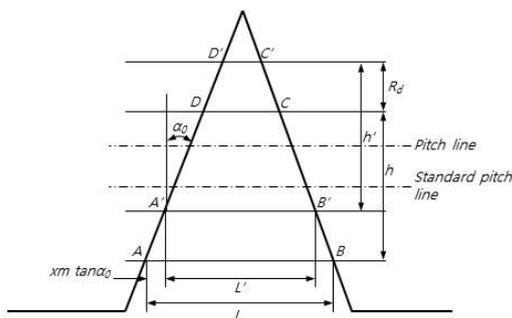


Fig. 5 Rack deviation

상대 기어에서는 음의 방향으로 랙편위량을 주게 되고 랙 이뿌리면의 길이가  $2xm \tan \alpha_0$ 만큼 늘어나

게 된다.

### 4.2 비표준기어의 변위량

프로그램에 의해 계산되어지는 기어의 변화량은 표준기어에 구동기어의 랙 전위, 피동기어의 전위 량을 변수로 추가하여 계산되어진다. 구동기어의 이끝원 지름은 식 (9)에 의해 계산되며 랙편위량에 의해 기어의 이끝원 지름이 변화하게 된다.

$$D = (N_1 + 2 + (2 \times R_d)) \times m \quad (9)$$

기어의 중심거리는 식 (10)에 의해 변화한다.

$$Center\ distant = m \times \frac{(N_1 + N_2)}{2 \cos(b_{tr})} + m \times Y_z \quad (10)$$

식 (9), (10)에서  $N_1$ 은 구동기어 잇수,  $N_2$ 는 피동기어 잇수,  $R_d$ 는 랙편위량,  $m$ 은 모듈,  $b_{tr}$ 는 비틀림 각,  $Y_z$ 는 중심거리 증가계수를 나타낸다.

### 4.3 자동설계 프로그램

Fig. 6은 2차원 비표준기어 자동설계 프로그램을 나타내고 있다. 비표준기어의 특성상 개별적으로 설계하여 이용하기가 까다롭고 번거롭기 때문에 본 프로그램에서는 구동 비표준기어를 기준으로 피동기어가 함께 설계 될 수 있도록 하였다.

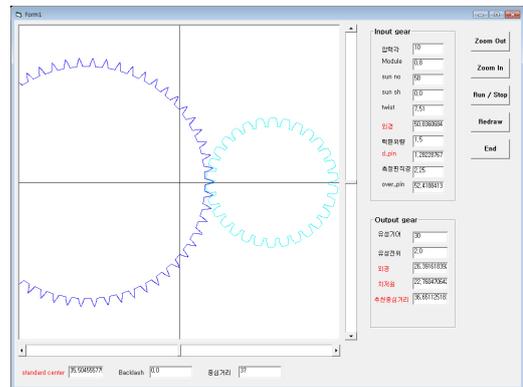


Fig. 6 Automation gear design program

2차원 비표준 기어 모델링을 위해서는 사용자가 입력한 데이터를 바탕으로 모델링이 된다. 입력창을 통해 설계변수를 사용자가 입력 할 수 있도록 하였으며 기어의 움직임은 실시간으로 확인하여 기어의 구동여부를 확인 할 수 있도록 하였다.

또한 비표준기어를 제작 후 오버핀 측정법을 이용해 기어의 정밀도를 측정 할 수 있도록  $d_{pin}$ , 측정핀 직경,  $over_{pin}$  값을 확인 할 수 있도록 하였다.

#### 4.4 설계기어의 물림방정식

Fig. 7은 본 프로그램에 의해 설계된 기어치의 물림을 나타낸다.  $p_n$ 과  $f_n$ 의 합은 원호 ac와 원호 AC의 합과 같다는 관계를 이용하여  $inv(\alpha_w)$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$inv\alpha_w = \left\{ p_n + f_n - \frac{(Z_1\eta_1 + Z_2\eta_2)p_n}{2\pi} \right\} \times \frac{\pi}{(Z_1 + Z_2)P_n} \quad (11)$$

식 (11)에서  $\eta_1, \eta_2$ 는 이밀각으로서 기초원상의 이흠이 중심에 대하여 이루는 각도로 한쌍의 전위기어에서 다음과 같다.

$$\eta_1 = \frac{\pi}{Z_1} - 2 \cdot inv\alpha_0 - \frac{4\tan\alpha_0}{Z_1}x_1 \quad (12)$$

$$\eta_2 = \frac{\pi}{Z_2} - 2 \cdot inv\alpha_0 - \frac{4\tan\alpha_0}{Z_2}x_2 \quad (12.1)$$

$$p_n = \pi m \cos\alpha_0 \quad (13)$$

식 (11)에 식 (12), (12.1), (13)를 대입하면 다음과 같다.

$$inv\alpha_w = 2 \cdot \frac{z_1 + x_2}{Z_1 + Z_2} \cdot \tan\alpha_0 + inv\alpha_0 + \frac{f_n}{m} \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot \alpha_0 \quad (14)$$

이는 일반적인 전위 기어의 물림방정식과 같은 식으로 프로그램에 의해 설계된 기어의 물림방정식은 변화 하지 않음을 알 수 있다.

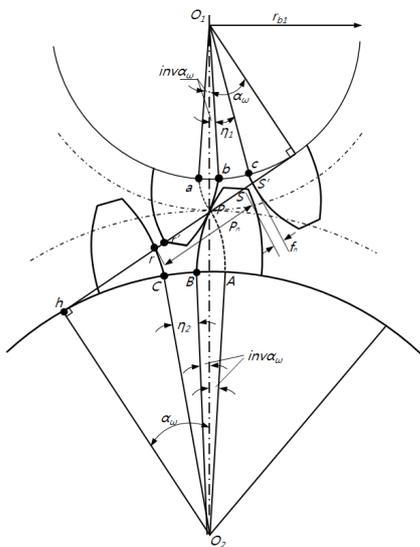


Fig. 7 Intermeshing state for designed gear

#### 4.5 설계기어 제작

Fig. 8은 본 프로그램에 의해 설계된 치형으로 제작된 플라스틱 기어와 상대 금속기어로 이루어진 자동차원도우용 모터어셈블리 이다.



Fig. 8 Manufactured prototype using a design program

### 4. 결 론

본 연구에서는 플라스틱을 재료로 하는 기어의 치두께를 변화시켜 기어의 반복 변형량을 줄이고 기어의 내구성을 향상시키기 위한 비표준기어의 설계프로그램에 관해 연구를 진행하였다.

랙편위량을 도입하여 랙의 피치선을 표준피치선 대비  $R_d$ 만큼 이동시켰을 때 치두께는  $2xm \tan\alpha_0$  만큼 변하게 된다. 이를 이용하여 맞물리는 기어중 강도가 약한 재료로 가공되는 기어는 치두께를 늘려서 기어의 수명을 연장할 수 있게 된다.

랙편위의 변화에 따른 물림방정식에는 변화가 없고, 향후 연구에서는 본 프로그램에 의해 생성된 플라스틱 기어에서 치두께의 변화량에 따른 변위량의 해석을 수행하며 아울러 기어의 재료와 용도에 따른 최적의 랙편위량에 대해 연구를 수행할 예정이다.

### 참고 문헌

1. 함성훈, 남원기, 오세훈, 2010, “직선이송용 Pin-Pinion Gear의 최적 치형에 대한 연구”, 한국동력기계공학회지, 14권, 제3호, pp. 64- 70
2. 권윤숙, 정영득, 2008, “내측기어 성형용 사출성형 금형구조의 개발”, 한국동력기계공학회지, 12권, 제6호, pp. 78-82
3. 정태형, 강성규, 하영욱, 2005, “플라스틱 기어의 피로수명 평가 및 수명예측”, 한국공작기계학회 2005년 춘계학술대회 논문집, pp. 239-246

4. Naohisa TSUKAMOTO, 1981, “investigation about the strength of plastic Gear 2nd report”, Bulletin of the JSME, Vol.24, No.191, pp 872-881
5. C. H. Kim, 2006, “Durability improvement method for plastic spur gears”, Tribology International, Vol.39, pp.1454-1461
6. 김충현, 안효석, 정태형, 2002, “플라스틱스퍼기어의 내구성 향상에 관한 실험연구”, 대한기계학회 논문집A권, 제26권, 제9호, pp.1922- 2002
7. 홍장표, 2004, “기계설계”, 북스힐, 서울, pp.515
8. 조승래, 이춘만, 1999, “전위기어 치형곡선의 Biarc Curve Fitting 최적화에 관한연구”, 한국정밀공학 회99년추계학술대회논문지, pp.985-988
9. Hideo Iwasaki, et al 1995, “Method of and apparatus for measuring tooth thickness of gear” US Patene Number 5,396,711