3. 베벨 기어의 설계와 제작(2)

기어는 산업 전반에 걸쳐 여러 분야에서 이용되고 있고, 특히 동력을 전달하는 기계장치에 많이 사용되고 있기 때문에기계기술자라면누구나 한번쯤 기어를 접해본경험이있을 것이다. 우리가타고 다니는 자동차만하더라도다양한크기와종류의기어장치를사용하고있다.
본 강좌는 기어에 대한 이론과 학문적인 측면보다는현장 실무자들이빠른 시간 내에 기어에 대해 이해하고 실무에적용할 수있는내용을위주로구성하였다. <편집자주>

김 영 순
기어텍이사

연재 순서

1. 기어기초
2. 평기어와헬리컬기어의설계와 제작
3. 베벨 기어의 설계와 제작
4. 웜기어의설계와제작
5. 내기어와유성기어시스템의 설계와제작
6. 기어동력전달장치설계포인트
7. 기어사고사례와 그원인

<지난호에 이어>

(4) 베벨 기어에 작용하는 하중

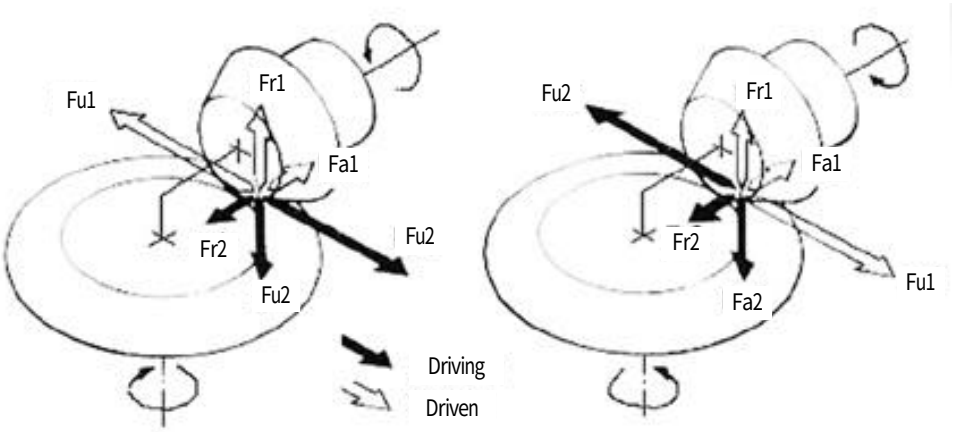
① 직선베벨 기어에 작용하는 하중

직선 베벨 기어에는 <그림 17>에서 보는 것처럼 피니언과 기어에 각각 3개의 하중이 나타난다.

$$F_u = \frac{2 \times T}{d_m}$$

$$d_m = d - b\sin\delta$$

$$F_a = F_u \times \tan\alpha \times \sin\alpha$$



<그림 17> 직선 베벨 기어에 작용하는 하중과 방향

$F_r = F_u \times \tan\alpha \times \cos\delta$

여기서, F_u = 접선방향 하중 (tangential force), kg

F_r = 반경방향 하중(radial force), kg

F_a = 축방향 하중(axial force), kg

T = 피니언 축의 토르크, kg-mm

d_m = 치폭중앙에서의 피치원 직경, mm

d = 피니언의 피치원 직경, mm

b = 치폭, mm

α = 공구 압력각, degree

δ = 피니언의 피치원추각, degree

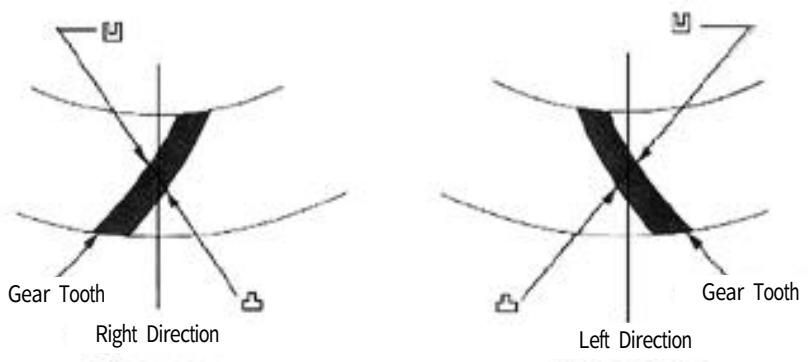
<그림 17>에서 보듯이 직선 베벨 기어의 피니언과 기어에 작용하는 하중 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$F_{u1} = F_{u2}$

$F_{r1} = F_{a2}$

$F_{a1} = F_{r2}$

② 스파이럴 베벨 기어에 작용하는 하중



<그림 18> 스파이럴 베벨 기어 이의 오목 볼록면

<표 5>

- 구동기어의 비틀림이 우방향일 때

구동 기어의 회전방향	맞물리는 기어 이의 면	
	우(右)방향 구동 기어	좌(左)방향 피동 기어
시계방향	볼록면	오목면
반시계방향	오목면	볼록면

- 구동기어의 비틀림이 좌방향일 때

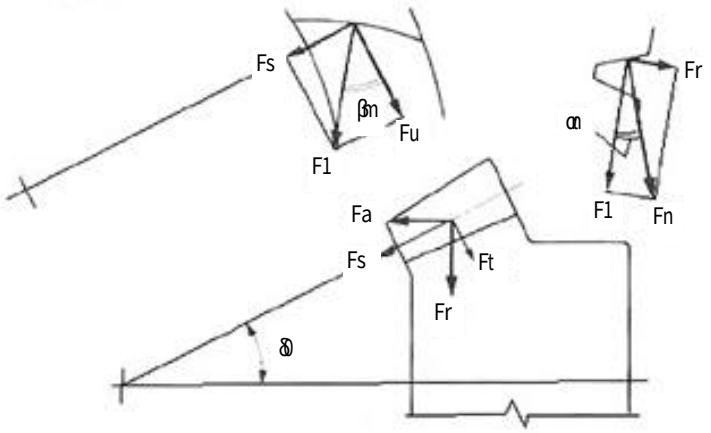
구동 기어의 회전방향	맞물리는 기어 이의 면	
	좌(左)방향 피동 기어	우(右)방향 구동 기어
시계방향	오목면	볼록면
반시계방향	볼록면	오목면

스파이럴 베벨 기어의 경우에는 이가 일정한 곡률 반경으로 휘어진 형상을 갖는다. 이 곡선을 오목한 부분과 볼록한 부분으로 나누며, 기어의 회전방향과 비틀림 방향에 따라 하중을 받는 면이 달라진다. 하중을 받는 면은 <표 5>에 표시되어 있다.

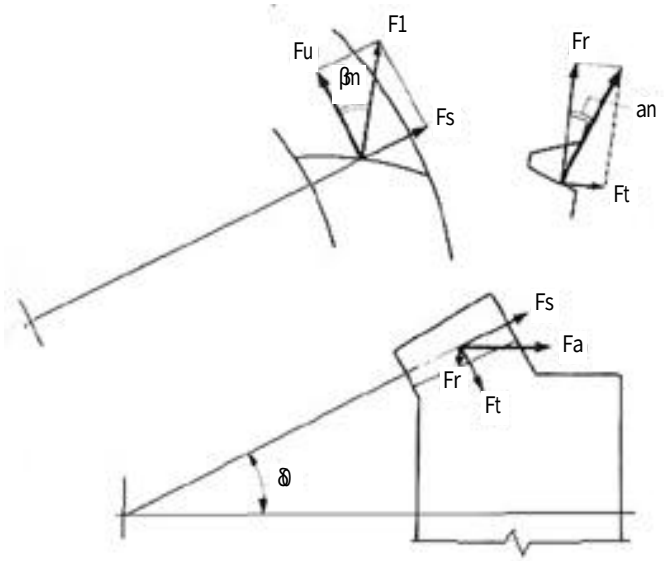
- 볼록면이 맞물리는 경우의 하중 계산

기어의 볼록면이 맞물릴 경우에는 <그림 19>에서 보는 것과 같은 하중이 작용하며, 최종적으로 구해야 할 하중은 Fu, Fr, Fa이다.

$$F_u = \frac{2 \times T}{d_m}$$



<그림 19> 볼록면에 작용하는 하중



<그림 20> 오목면에 작용하는 하중

$$F_a = F_t \sin\delta - F_s \cos\delta$$

$$F_r = F_t \cos\delta + F_s \sin\delta$$

$$F_a = \frac{F_u}{\cos\beta_m}(\tan\alpha_n \sin\delta - \sin\beta_m \cos\delta)$$

- 오목면이 맞물릴 경우의 하중 계산<그림 20>

$$F_u = \frac{2 \times T}{d_m}$$

$$F_a = F_t \sin\delta + F_s \cos\delta$$

$$F_r = F_t \cos\delta - F_s \sin\delta$$

$$F_a = \frac{F_u}{\cos\beta_m}(\tan\alpha_n \sin\delta + \sin\beta_m \cos\delta)$$

$$F_r = \frac{F_u}{\cos\beta_m}(\tan\alpha_n \sin\delta - \sin\beta_m \cos\delta)$$

- 베벨 기어에 작용하는 하중의 방향

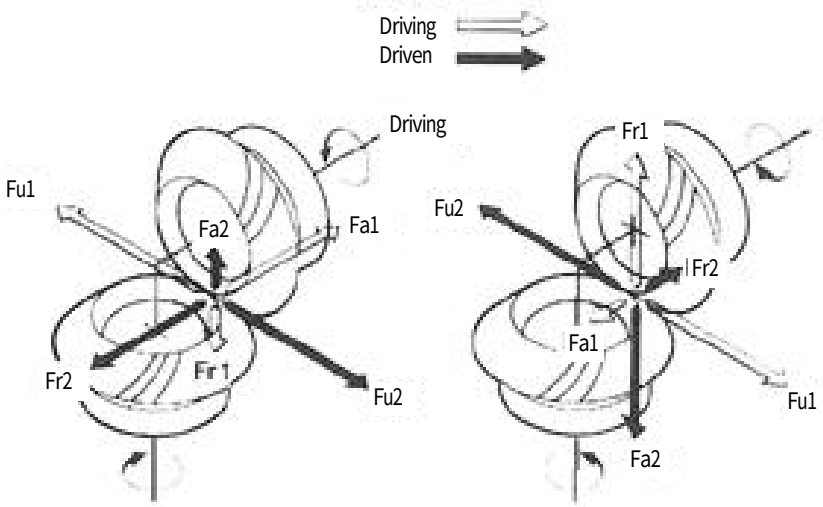
다음 그림은 스파이럴 베벨 기어가 회전할 때 기어에 작용하는 하중의 방향을 표시한 것이다. 이것은 축각이 90도, 공구 압력각이 20도, 비틀림각이 35도인 경우를 기준으로 하였다.

특히, 스파이럴 베벨 기어의 기어 비율에 따라 축방향 하중과 반경방향 하중의 방향이 변경되는 점에 주의해야 한다.

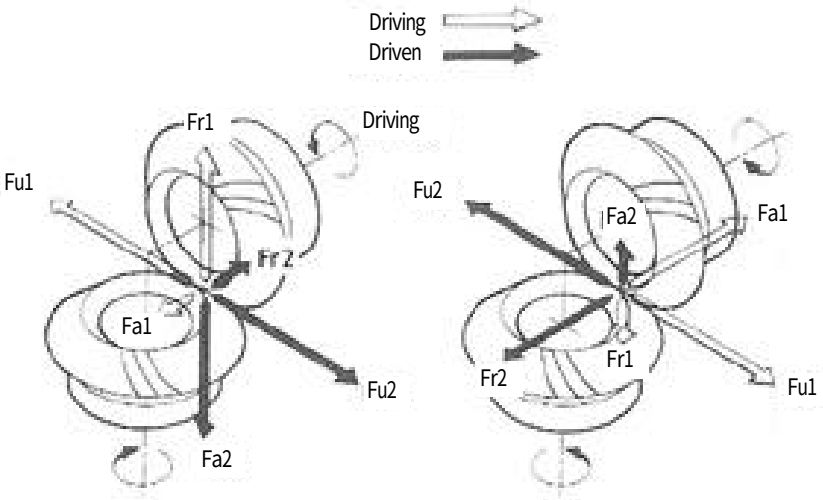
하중의 방향이 변하는 이유는 피니언의 피치원추각의 크기가 기어 비율에 따라 변경되기 때문이다.

기어 비율(Z_2/Z_1) 1.57357을 기준으로 방향이 달라지므로, 설계시 기어 비율이 1.57357 미만인 경우는 <그림 21, 22>을 참고하고 기어 비율이 1.57357 이상인 경우는 <그림 23, 24>을 참고하기 바란다.

●기어 비율 < 1.57357

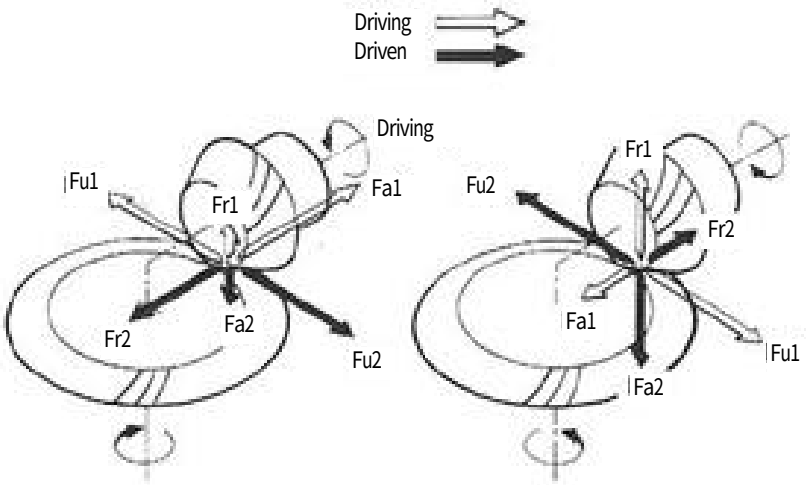


<그림 21> 구동기어가 좌방향, 피동기어가 우방향인 경우

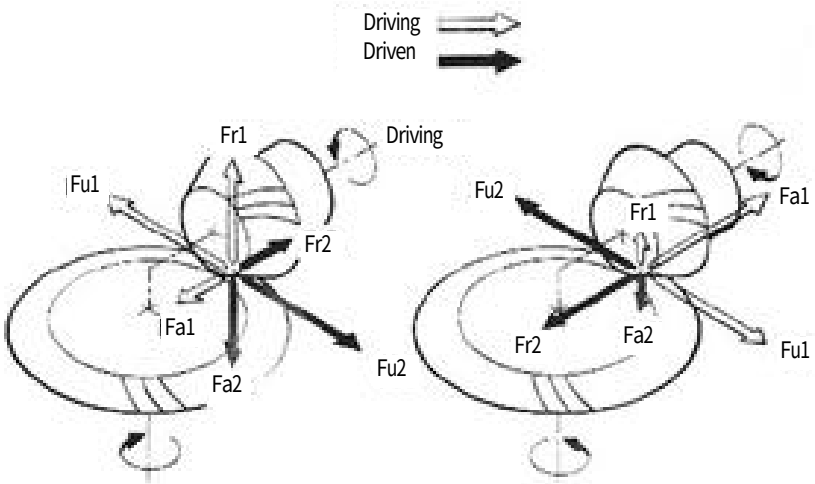


<그림 22> 구동기어가 우방향, 피동기어가 좌방향인 경우

●기어 비율 □ 1.57357



<그림 23> 구동기어가 좌방향, 피동기어가 우방향인 경우



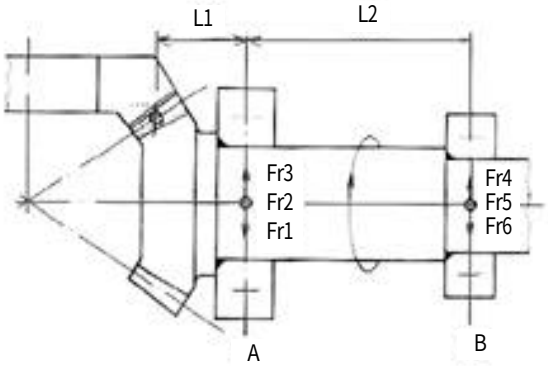
<그림 24> 구동기어가 우방향, 피동기어가 좌방향인 경우

③ 베벨 기어 축이 받는 하중

베벨 기어에 작용하는 하중에 의해 기어를 지지하고 있는 축의 베어링에 반력이 작용한다.

베벨 기어는 보통 양쪽 지지와 한쪽 지지 형태로 조립되기 때문에 다음 두 가지 그림을 이용하여 베어링에 작용하는 하중을 계산할 수 있다.

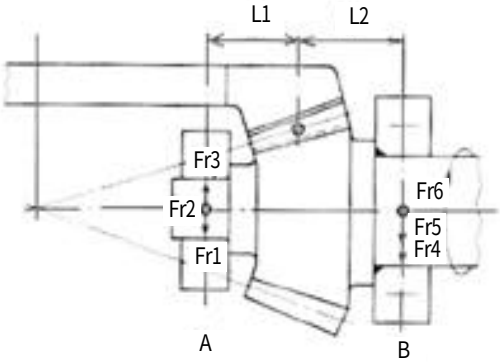
- **한쪽 지지인 경우**



베어링 A가 받는 하중	베어링 B가 받는 하중
$F_{r3} = F_r \dfrac{L_1}{L_2}$	$F_{r1} = F_r \dfrac{L_1 + L_2}{L_2}$
$F_{r2} = F_u \dfrac{L_1}{L_2}$	$F_{r2} = F_u \dfrac{L_1 + L_2}{L_2}$
$F_{r3} = F_a \dfrac{d_m}{2L_2}$	$F_{r3} = F_a \dfrac{d_m}{2L_2}$
$F_{rA} = \sqrt{F_{r2}^2 + (F_{r1} - F_{r3})^2}$	$F_{rB} = \sqrt{F_{r5}^2 + (F_{r4} - F_{r6})^2}$

<그림 25> 축이 받는 하중

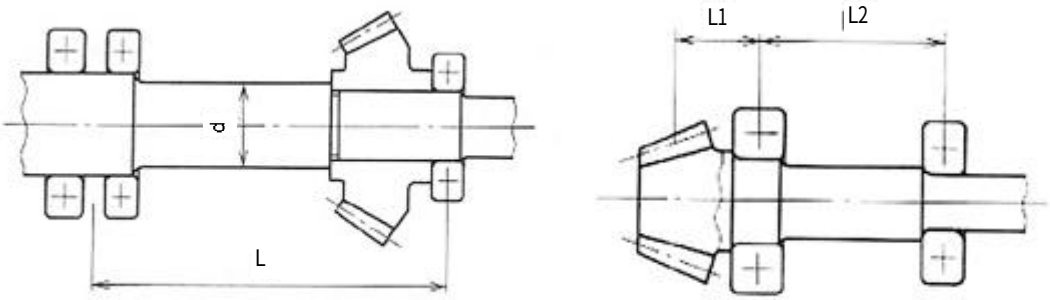
- **양쪽 지지인 경우**



베어링 A가 받는 하중	베어링 B가 받는 하중
$F_{r3} = F_r \dfrac{L_1}{L_1 + L_2}$	$F_{r1} = F_r \dfrac{L_2}{L_1 + L_2}$
$F_{r2} = F_u \dfrac{L_1}{L_1 + L_2}$	$F_{r2} = F_u \dfrac{L_2}{L_1 + L_2}$
$F_{r3} = F_a \dfrac{d_m}{2(L_1 + L_2)}$	$F_{r3} = F_a \dfrac{d_m}{2(L_1 + L_2)}$
$F_{rA} = \sqrt{F_{r2}^2 + (F_{r1} - F_{r3})^2}$	$F_{rB} = \sqrt{F_{r5}^2 + (F_{r4} - F_{r6})^2}$

<그림 26> 축이 받는 하중

④ 축경과 베어링 지지 거리

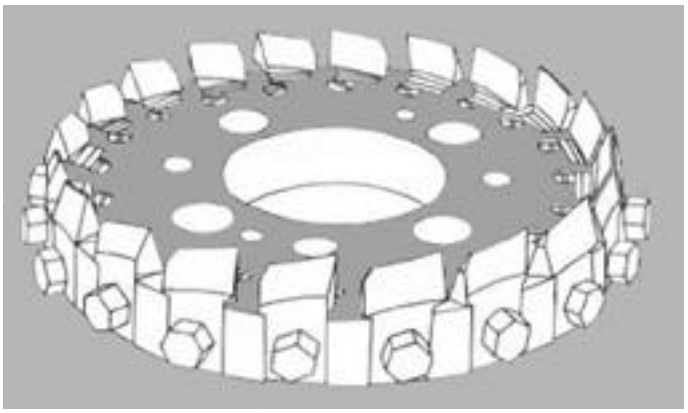


<그림 27> 축경과 베어링 지지 거리의 관계

베벨 기어는 헬리컬 기어와 달리 축방향 하중(추력)이 크고 기어가 맞물릴 때 받는 하중에 의한 흔들림이 크다. 따라서 기어가 조립된 축을 지지하는 베어링 사이의 거리를 적절하게 정하는 것이 중요하다. 거리가 너무 클 경우는 축의 처짐과 흔들림의 원인이 될 수 있고, 작은 경우는 베어링이 받는 반력이 커지기 때문이다.

양쪽 지지인 경우에 축경과 거리의 비(d / L) = 0.20 ~ 0.30이 적당하다. 한쪽 지지인 경우 즉, 베벨 기어가 내닫이 보의 형태가 되었을 때는 기어 가까이에 위치한 베어링이 큰 하중을 받게 되고, 기어의 흔들림이 커질 경우가 많기 때문에 베어링 지지 거리와 기어의 조립 위치를 조절할 필요가 있다.

한쪽 지지인 경우<그림 27의 오른쪽>에는 $L_2/L_1 = 2.5$ 전후 값을 사용하는 것이 보통이다.



<그림 28> 회전 커터

(5) 베벨 기어의 가공 방법

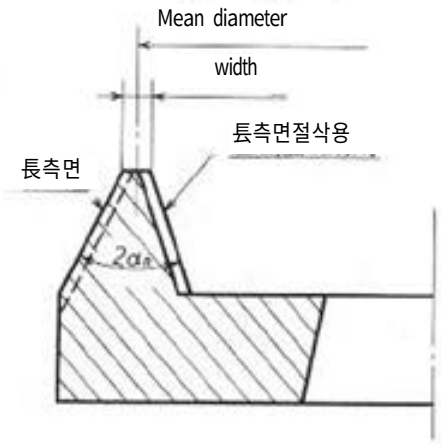
베벨 기어 이를 치절하는 방법에는 밀링 선반을 이용하거나 호브를 이용한 가공 등 여러 가지가 있다. 이 가운데 몇 가지만 살펴보도록 하겠다.

① 밀링 커터를 이용하는 방법

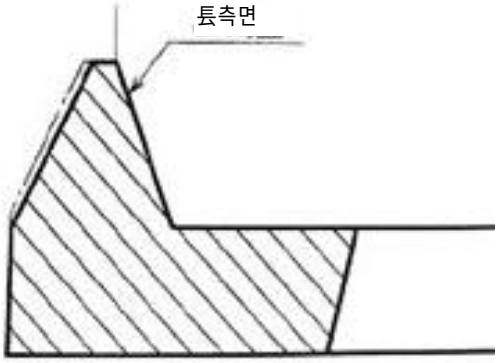
밀링 선반은 주로 직선 베벨 기어를 치절하기 위해 사용하며, 특히 크기가 아주 큰 직선 베벨 기어가공에 사용하면 좋다.

이 방법은 밀링 커터를 회전시키면서 치폭 방향의 피치를 따라 이송시킴으로 기어 이를 가공한다. 따라서 기어의 디덴덤(dedendum)과 틈새(clearance)가 일정한 등고치(等高齒)가 된다.

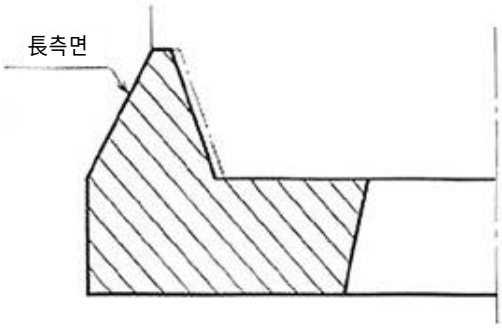
밀링 절삭법을 이용하여 가공할 경우 기어의 치폭이 원추거리의 30%를 넘지 않도록 주



<그림 29> 오목 볼록면 동시 치절하기 위한 표준 커터



<그림 30> 볼록면 치절용 커터



<그림 31>오목면 치절용 커터

의해야 한다. 이는 내단부의 치폭 홈이 외단부 치폭 홈에 비해 좁아지기 때문에 치폭을 기준치 이상으로 크게 하면, 내단부 치폭 홈이 점점 작아져서 커터의 두께가 얇아야만 가공이 가능하다. 반면에 외단부 치폭은 가늘어져서 큰 하중에 견디기 어렵게 된다.

② 회전 커터를 이용하는 방법

커터 날이 여러 개 부착된 회전형 커터를 이용하여 단 시간에 기어 이를 치절함으로 생산성을 높일 수 있는 방법이다.

여기에 사용되는 커터는 베벨 기어의 오목 볼록면을 한꺼번에 치절하는 것과 오목면과 볼록면을 따로 치절할 수 있는 것으로 분류된다.

이 외에도 싱글사이드 치절삭방법과 스프레드블레이드 방법 등 많은 가공법이 있다. 그러나 베벨 기어는 치수 계산식뿐만 아니라 가공 공구 등도 치절삭에 사용되는 기계의 영향을 많이 받기 때문에 설계자는 회사가 보유하고 있는 장비나 또는 가공을 의뢰할 업체의 가공 장비 종류를 확인하여 설계에 반영하는 것이 가장 좋다.

문의 (032) 584-0430