

# 헬리컬 인벨로핑 기어의 Shaping 가공 시뮬레이션

김형모\*, 이기용, 이재설, 박순섭(한국생산기술연구원)

## Simulation of Enveloping Helical Gear Generation by Shaping Operation

Hyung-Mo Kim, Ki-Yong Lee, Jae-Seol Lee, Soon-Sub Park(KITECH)

### ABSTRACT

In this investigation, the authors propose a novel method of Enveloping Helical gear generation by shaping operation and a math model to simulate its manufacturing process. The tooth geometry of the Enveloping Helical Gear is analytically determined by simulating the conjugate motion between the workpiece(Enveloping Helical gear) and cutting tool(shaper cutter) in the generation process. It is expected that such math modeling capability will give engineers an opportunity to correct manufacturing related issues in the design phase and thereby reduce the developing period.

**Key Words :** Enveloping Helical gear(인벨로핑 헬리컬 기어), Shaping Operation(가공), Power Transmission(동력전달)

### 1. 서론

기존의 어긋난 축 헬리컬 기어는 'load sharing', 소음 및 진동과 직접적으로 연결되는 치형(tooth geometry)의 특성상 접촉율(contact ratio)이 낮고 접촉면(contact area)이 작은 관계로 적용 범위가 low power, low load, low speed 및 단순 motion 전달 용도로만 사용이 제한 되어 왔다. 이런 이유들 때문에 기존의 헬리컬기어 드라이브는 평행 축(Parallel axis) 용도로 일반적으로 사용된다.

본 연구는 기존의 어긋난 축 헬리컬 기어 치형의 단점을 보완하여 향상된 기어의 맞물림(meshing) 조건을 구현함으로써 적용범위를 Power Transmission 용도로 넓히는 것이며, 이에 관련 shaping 가공 시뮬레이션 기법을 이용 신구조의 어긋난 축(crossed axis)용 헬리컬 기어 치형의 math modeling 에 관한 것이다.

### 2. Shaping 가공 시뮬레이션

본 연구의 인벨로핑 헬리컬 기어의 특징은 기존의 헬리컬 기어를 감싸므로(envelope) 접촉율을 높이고 접촉면을 넓히는 데에 있다(Fig.1).

Fig. 2 의 좌표 시스템은 인벨로핑 헬리컬 기어 치형을 math modeling 하기 위해 지정한 reference 좌표 시스템이다. 좌표 시스템  $S_f$  와  $S_p$  는 가공기의 workpiece 와 절삭공구(cutter) spindle 중심에 고정된 좌표이고,  $S_1$  와  $S_2$  는 각각

인벨로핑 기어(workpiece) 와 절삭공구 중심에 고정되어있으며 workpiece 및 절삭공구의 움직임과 같이 움직이는 좌표 시스템 이다. 인벨로핑 기어와 절삭공구 회전각도  $\phi_1$  과  $\phi_2$  의 관계는 절삭공구 종류(type) 및 설계 변수(design parameter)에 따라 제어 되어야 하며 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\phi_1 = C \cdot \phi_2 \quad (1)$$

식(1)의  $C$  는 상수이며 절삭공구의 종류 및 설계 변수에 따라 결정된다. 편리상 절삭공구면(tool surface)은 curvilinear 좌표  $(\theta, U)$  시스템을 이용하여 일반적으로 표현할 수 있으며 포괄적으로 좌표 시스템  $S_2$  상에서 아래와 같은 벡터로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{r}_2(\theta, U) = [x(\theta, U), y(\theta, U), z(\theta, U)] \quad (2)$$

$\mathbf{r}_2(\theta, U)$  는 포괄적인 절삭공구의 cutting edge 를 표현하는 식이며 가공 방식에 의하여 결정되어지고 가공시  $\mathbf{r}_2(\theta, U)$  는 인벨로핑 기어와 헬리컬 기어의 맞물림을 묘사해야만 한다.

미분 기하학 이론에 따라 인벨로핑 기어의 치형을 포괄적으로 벡터 형식으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r}_1^{(i,j)}(\theta, U, \phi_1(\phi_2)) = \mathbf{M}_{12}(\phi_1(\phi_2)) \cdot \mathbf{r}_2^{(i,j)}(\theta, U) \quad (3)$$

$$\mathbf{n}_2^{(i,j)} \cdot \mathbf{v}_2^{(2i)} = f(\theta, U, \phi_1(\phi_2)) = 0 \quad (4)$$

식(3)의 벡터  $\mathbf{r}_1$  은 인벨로핑 기어의 치형을 나타내는 것이고  $\mathbf{M}_{12}$  는 4x4 변환(transformation) 매트릭스라고 부르며 절삭공구의 절삭동작(cutting motion)을 묘사하는 것이다.

식(4)는 'equation of meshing' 이라 부르며 절삭공구의 절삭면의 변수  $(\theta, U)$  와 절삭동작 변수  $(\phi_1, \phi_2)$  의 관계를 식으로 표현한 것이다. 또한 식(4)는 벡터  $\mathbf{r}_1$  이 존재하기 위한 필요조건 이기도하다.

### 3. 예제 및 결론

앞에서 제안된 이론은 computer code 화 하였으며 Table 1 의 설계 파라미터를 이용하여 인증을 시도하였다. Fig. 3 은 실제 사용된 공구이며 Fig. 4 는 가공된 인벨로핑 헬리컬 기어다.

본 연구에서는 인벨로핑 헬리컬 기어의 치형을 수식으로 표현하는 방식을 제안하였으며 설계가공에 적용되었다.

Table 1. Design Parameter of Shaper Cutter and Enveloping Helical Gear (Unit: English)

Shaper Cutter	
Number of Teeth	46
Generating Pitch Diameter	4.75
Generating Normal Pressure Angle	15.9006°
Helix Angle at Gen. PD	24.6332°
Normal Tooth Thickness	0.1240
Enveloping Helical Gear	
Worm Thread	17
Face With	1.7
Whole Depth	0.2303
Throat Diameter	4.0472

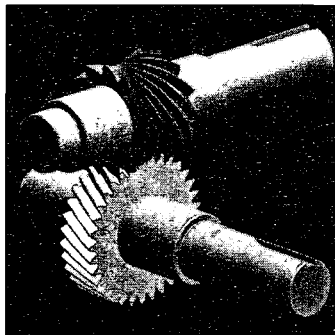


Fig.1 Enveloping Helical Gear Drive

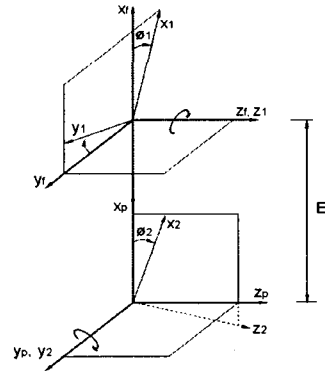


Fig.2 Applied Coordinate System for Simulation of Enveloping Helical Gear Generation

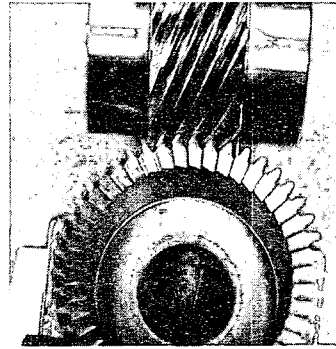


Fig.3 Conventional Shaper Cutter

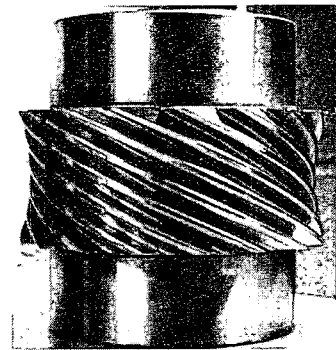


Fig.4 Generated Enveloping Helical Gear

### 참고문헌

1. A. Goetz, Introduction to Differential Geometry, Addison-Wesley, Massachusetts, (1970)
2. F.L. Litvin, C.B. Tsay, Helical Gears with Circular Arc Teeth: Simulation of Conditions of Meshing and Bearing Contact, ASME J. of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, 107(1985) 556-564
3. F.L. Litvin, Gear Geometry and Applied Theory, Prentice-Hall, New Jersey, (1994)