

자유곡면 가공을 위한 Spiral Bevel Gear의 치면 모델링에 관한 연구

서석환* · 지우석** · 김형찬*

* 포항공과 대학교 산업공학과

** 포항제철 기계설비부

Abstract

기어는 정확하고 효율적인 동력 전달 수단으로서 산업현장에서 널리 사용되는 기계 부품으로서 그 용도에 따라 스퍼, 헬리컬, 워엄, 베벨 기어등 다양한 종류의 기어들이 있다. 이 중 본 연구에서 대상으로 하고 있는 스파이럴 베벨 기어는 베벨 기어류 중 가장 복잡한 형상의 기어로서 교차하는 두 축간의 동력 전달에 사용된다. 기어에 관한 연구들은 기어의 태동기부터 시작하여 지금까지 많이 이루어져 왔는데, 연구의 주된 테마는 기어의 설계 및 분석에 치중되어 왔다. 최근에는 컴퓨터의 발달과 기구학적인 분석기법을 토대로 베벨 기어의 형상 및 설계 파라미터들에 대한 심도 있는 연구가 진행되어 왔다. 1987년 Tsai와 Chin은 기어의 기구학적 이론과 원추면에 접하는 평면을 가정한 인볼루트 곡선을 기초로 수학적 곡면 모델을 소개하고 전용기로 가공된 파트와 비교하였다. 1991년Fong과 Tsai는 전용기 가공 방식 및 원형 커터의 모델링을 통해 스파이럴 베벨 기어 치형 곡면의 수학적 모델을 제시하였으며, 1994년 Al-Daccak 등은 완전한 구형 인볼루트 곡선을 제시하여 Tsai와 Chin의 곡면 모델의 정확성을 높였다.

이러한 기존 연구들은 대부분 기어의 설계 및 분석에 중점을 두고 있고, 그 이후 단계인 기어의 제작에 관해서는 호빙 머신(hobbing machine)이나 셰이핑 머신(shaping machine)과 같은 전용 가공기에서의 제작을 가정하고 있기 때문에 몇몇 연구자들의 자유곡면 제조방식의 가능성 언급에도 불구하고, 스파이럴 베벨 기어에 대한 공구경로 생성(toolpath planning)에 관한 연구는 전무한 실정이다. 최근에는 CNC 전용 가공기가 개발되어 산업 현장에 널리 사용 되고 있지만, 전용 가공기가 원판형의 특수 공구를 사용하는 반면 자유곡면 제조방식은 일반적인 엔드밀 류를 사용하고 있고, 동작 원리도 근본적으로 상이하기 때문에 자유곡면 제조방식에 의한 스파이럴 베벨 기어 가공을 위해서는 심도 있는 공구경로 생성에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 자유곡면 제조방식에 의해 스파이럴 베벨 기어를 가공하기 위한 기어의 치면 형상의 모델링에 중점을 두었는데, 모델링 방식은 기어의 제원을 표시하는 파라미터들에 대한 분석과

Gleason 전용 가공기에서 제작되는 기어 형상에 대한 분석을 통해 스파이럴 베벨 기어의 치면 형상을 매개변수 형식의 수식 모델로 도출하였다. 또한 도출된 수식 모델을 기반으로 하여 솔리드 모델을 생성하여 사용자가 스파이럴 베벨 기어의 형상 및 조립 상태를 손쉽게 확인할 수 있도록 하였으며, 애니메이션을 통하여 기어의 치가 맞닿는 부분의 치합 상태를 분석할 수 있도록 함으로써 수식 모델의 유효성을 검증하였다.

스파이럴 베벨 기어의 치면을 모델링하기 위해서는 설계변수(파라미터)를 추출하는 것이 필수적인데, 설계시 요구되는 다양한 변수들을 분석하고 이를 기어 치면 정의에 반드시 필요한 필수 파라미터와, 필수 파라미터를 이용하여 계산식에 의해 유도 되는 보조 파라미터로 구분하여 정립하였다. 설계 파라미터 정의 및 계산식은 Gleason 경사치 방식을 채택하였는데, 이는 국내에서 사용되는 스파이럴 베벨 기어들의 대부분이 Gleason 방식을 채택하고 있기 때문이다. 필수 파라미터로는 모듈, 잇수, 치폭, 압력각, 축각, 틀림각(spiral angle), 틀림방향, 백래쉬, 이두께 상수 등이며 이는 사용자가 입력해야 하는 값이고, 이러한 필수 파라미터를 기반으로 하여 계산식에 의해 얻어지는 값들이 보조 파라미터인데, 이러한 파라미터들은 기어 형상 및 치면 모델링의 근간이 된다.

치면 모델링은 매개 변수 방식의 치면 수식 모델로서 정의되는데, 단면 곡선을 매개변수 u 로 수식화하고 스파이럴 곡선을 매개변수 w 로 수식화 한 후, 단면 곡선이 스파이럴 곡선을 따라 스위프(sweep)보간 된 곡면 $S(u,w)$ 의 수식 모델을 생성하였다. 단면 곡선은 $S1 \sim S5$ 의 5개 곡선으로 구성되는데, $S1$ 과 $S5$ 는 구형 인볼루트 곡선이고, $S3$ 는 치저면을 나타내는 원형 곡선이며, $S2$ 와 $S4$ 는 인볼루트 곡선과 치저면 곡선을 매끈하게 연결해 주는 필렛 곡선이다. 이중 인볼루트 곡선인 $S1$, $S5$ 는 기어의 한쌍이 연속적으로 맞물려 돌아갈 때 접촉(contact)이 일어나는 부분이며, $S2$, $S3$, $S4$ 는 기어가 서로 맞물려 돌아갈 때 이끝과 치저가 닿지 않도록 여유 공간을 확보하는 역할을 한다. 따라서 기어의 기구학상 의미가 있는 곡선은 $S1$, $S5$ 이며, 이 부분에 대한 정밀 가공이 기어 전체의 정밀도를 좌우하게 된다. 본 연구에서는 구형 인볼루트 곡선 및 스파이럴 곡선을 근간으로 하여 인볼루트 곡면인 $S1(u,w)$, $S5(u,w)$ 의 수식 모델을 도출하였다.

구형 인볼루트 곡선은 기초 원추의 측면에 감겨진 늘어나지 않는 막이 풀려나가면서 끝점이 그리는 궤적으로 표현될 수 있으며, 스파이럴 곡선은 로그리듬 스파이럴 곡선(logarithmic spiral curve), 원형 가공 스파이럴 곡선(circular cut spiral curve), 인볼루트 스파이럴 곡선(involute spiral curve) 등이 있는데 본 연구에서는 Gleason방식의 스파이럴 베벨 기어에서 채택하고 있는 원형가공 스파이럴 곡선을 사용하였다.

이상에서 정립된 치면 수식 모델을 이용하여 한쌍의 스파이럴 베벨 기어를 컴퓨터에서 가시화(솔리드 모델링) 하고 치합상태를 분석하였는데, 도면 정보를 바탕으로 필수 설계 파라미터를 입력 받으면 보조 파라미터들에 대한 자동 계산이 이루어지며, 파라미터들에 대한 분석이 끝나면 스파이럴 베벨 기어의 입체 형상을 생성한다. 또한 임의의 지점의 단면 보기를 통한 치합상태 점검 및 애니메이션을 통한 기어 회전의 원활성 등을 점검하여 수식 모델의 유효성을 입증하였다.