Cutting simulation 을 이용한 End-milling cutter 의 모델링 및 제작에 관한 연구

김재현*, 박수정, 김종한 (영남대 대학원 기계공학과),
박정환, 고태조, 김희술 (영남대 기계공학부)

End-mill Modeling and Manufacturing Methodology via Cutting simulation

J. H. Kim*, S. J. Park, J. H. Kim (Mecha. Eng. Dept. YNU),
J. W. Park, T. J. Ko, H. S. Kim (Mecha. Eng. Dept. YNU)

ABSTRACT

This paper describes a design process of end-milling cutters: solid model of the designed cutter is constructed along with computation of cutter geometry, and the wheel geometry as well as wheel positioning data for fabricating end-mills with required cutter geometry is calculated. In the process, the main idea is to use the cutting simulation method by which the machined shape of an end-milling cutter is obtained via Boolean operation between a given grinding wheel and a cylindrical workpiece (raw stock). Major design parameters of a cutter such as rake angle, inner radius can be verified by interrogating the section profile of its solid model. We studied relations between various dimensional parameters and proposed an iterative approach to obtain the required geometry of a grinding wheel and the CL data for machining an end-milling cutter satisfying the design parameters. This research has been implemented on a commercial CAD system by use of the API function programming, and is currently used by a tool maker in Korea. It can eliminate producing a physical prototype during the design stage, and it can be used for virtual cutting test and analysis as well.

Key Words : Design(디자인), End-milling cutter(엔드밀), Cutting simulation(절삭 시뮬레이션), Grinding wheel(연삭 숫돌), Solid modeling(솔리드 모델링)

1. Introduction

볼 엔드밀에 의한 고속가공은 CNC 공작기계의 발달에 힘입어 세계적으로 점차 보편화 되어 가고 있다. 고속가공은 절삭속도의 증가에 따른 생산성 향상과 가공정밀도의 향상 및 공작물 표면품질 개선, 생산비용 감소 등 여러 가지 이점을 가지고 있다.

이러한 고속가공을 실현하기 위해서는 공작기계의 성능 못지않게 공구의 성능 역시 중요하다. 엔드밀은 공작기계와 달리 소모적이면서, 가공물의 품질을 결정하는 중요한 부분으로, 고속가공을 이용하여 고품위의 가공을 실현하며, 동시에 경쟁력 있는 제품을 만들기 위해서는 우수한 절삭성과 함께 가격이 저렴한 엔드밀이 꼭 필요하다고 할 수 있다[1][2].

따라서 우수한 절삭성능, 저렴한 가격, 긴 수명 등을 가진 공구의 개발은 고속가공을 위한 CNC 가공기계의 발달과 함께 중요한 목표라고 할 수 있다. 엔드밀의 절삭성능을 향상시키기 위해서는 엔드밀의 재료, 코팅, 형상과 같은 세가지 요소가 가장 중요하며, 그 중 엔드밀의 형상개선을 통해 가공정밀도 향상과 함께 동적 안정성을 얻을 수 있다[3].

엔드밀의 형상요소 중 절삭성에 큰 영향을 미치는 요소는 여유각, 경사각, 헬릭스각 등이 있다[4]. 이 세가지 요소는 서로 밀접한 관계가 있는데 헬릭스각에 의해 생겨나는 나선형 홈에 절삭날이 위치한다. 하지만 나선형 홈의 경우 엔드밀 설계 시 형상이 결정되는 것이 아니라 가공에 의한 결과로서 형상이 나타나게 된다. 즉 임의의 연삭숫돌을 먼저

선택한 후 가공조건에 의해 엔드밀 모재를 가공하게 되면 나선형 홈 형상이 결정된다. 그러므로 설계단계에서는 이러한 형상들을 일관성 있게 확인할 수가 없으며, 형상을 개선하거나 결과를 확인하기 위해서는 시제품의 제작과 그에 따른 절삭 실험이 필수적이다[5].

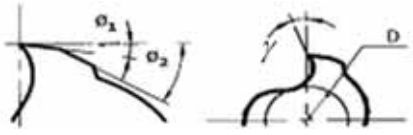
따라서 설계단계에서 연삭숫돌의 형상 및 연삭조건을 예측할 수 있고, 엔드밀의 3D model 을 생성할 수 있다면 시제품 생산 및 성능실험에 소모되는 금적적, 시간적인 손실을 줄일 수 있을 것이다.

엔드밀의 설계 및 제작에 관한 기존의 연구로는 나선형 홈형상에 대한 기하학적 해석[6][7][8][9][10], 엔드밀 단면형상 예측[11][12], 드릴제작을 위한 연삭숫돌의 설계[13][14] 등이 있다. 본 연구에서는 연삭숫돌과 엔드밀 모재를 Cutting simulation 에 의한 방법으로 엔드밀의 단면형상을 예측하였으며 이를 이용하여 엔드밀 3D 모델을 생성하였으며, 엔드밀 형상의 중요치수인 경사각, 홈골반경, 날두께를 계산하였다. 나아가 엔드밀 형상을 결정하는 연삭숫돌의 형상치수 및 연삭조건에 사용되는 변수가 엔드밀 형상에 미치는 영향에 대해 조사하여 경향을 파악하였다. 이를 이용하여 엔드밀의 주요 형상치수(i.e. 경사각, 홈골반경, 엔드밀 날두께)를 만족하는 연삭숫돌의 형상치수 그리고 가공조건을 예측할 수 있다. 이러한 프로세스를 상용 CAD/CAM 시스템인 Unigraphics 의 Open API 에 적용하여 보았다.

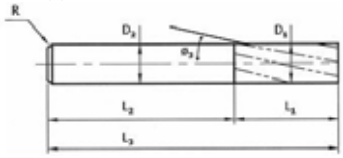
획득된 3D solid model 을 이용하면 엔드밀의 성능예측을 위한 절삭력 예측 및 강성해석 등을 적용할 수 있으며, 설계단계에서 엔드밀의 성능예측도 기대할 수 있을 것이다.

2. Dimensional parameters

엔드밀 설계 소프트웨어 개발에 앞서 모델링을 위한 엔드밀 형상을 정의하였다. Fig. 1 에 실제 모델링 시에 사용 될 형상치수들을 정의 하였고, Table 1 에 치수의 명칭을 나타내었다.



(a) Section dimensions



(b) External shape dimensions

Fig. 1 Basic geometry of end-milling cutter

Table 1 End-milling cutter parameters

$Ø_1$	1'st relief angle	D	Radius of inner circle
γ	Rake angle	$Ø_2$	2'nd relief angle
R	Chamfer length	D_2	Shank Diameter
$Ø_3$	Helix angle	D_1	Cutter Diameter
L_1	Cutter length	L_2	Shank length
L_3	Overall length	Nf	Number of flute

Fig. 1 에서 정의된 형상 치수와는 별개로 바닥날 부분의 형상치수가 추가적으로 존재한다. 그러나 엔드밀의 단면형상 모델링을 위한 직접적인 치수는 아니므로 생략하였다.

정의된 형상 치수를 이용하여 엔드밀을 모델링할 때, 나선형 홈 형상(Helical flute shape)과 목부에 존재하는 홈형상(Neck groove shape)의 치수는 해석하기가 힘들다. 이 두 가지 형상은 설계 치수에 의해 결정되는 것이 아니라 엔드밀 모재에 대한 연삭숫돌의 가공에 의해 나타나는 형상으로 연삭숫돌의 형상 및 가공조건(e.g., setting angle, wheel center point)에 의해 결정된다. Fig. 2 는 엔드밀의 단면형상(Section profile)의 나선형 홈형상과 엔드밀 목부의 홈형상을 보여준다.

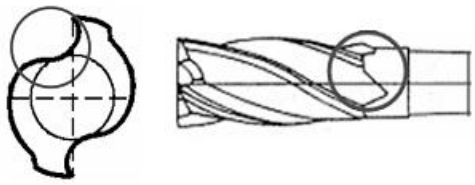
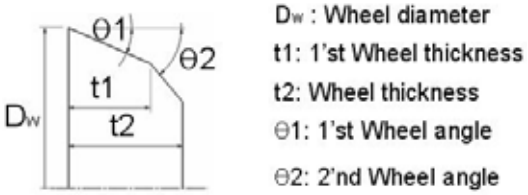
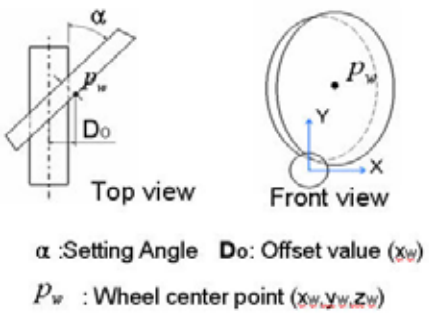


Fig. 2 Helical groove and neck part of a cutter

Fig. 3 은 연삭숫돌의 형상 치수와 엔드밀 모재에 대한 연삭숫돌의 상대적인 위치를 나타낸 그림이다. Pw 는 연삭 숫돌의 중심좌표를 나타내며 연삭가공시의 CL data 를 나타낸다. 엔드밀 설계에 있어 xw 를 옵셋값, yw 를 숫돌높이, 엔드밀 모재와 연삭숫돌의 중심축들이 이루는 각도를 세팅각(α) 이라고 정의하고 있다.



(a) Wheel dimensions



(b) Relative positions of wheel and blank

Fig. 3 Wheel geometry and positioning

3. Cutter shape modeling

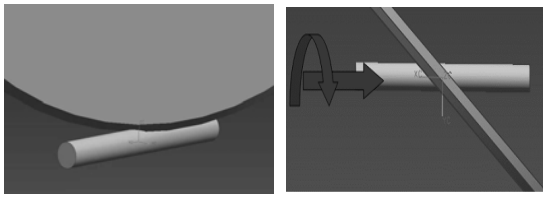
본 연구에서는 Fig. 1 에 나타난 엔드밀의 단면 형상 곡선을 엔드밀 목부부터 나선형 곡을 따라 스위핑(sweeping)하여 엔드밀의 3 차원 형상을 설계하였다.

나선형 홈형상의 예측을 위한 선행연구로는 cutting simulation 에 의한 방법과 수학적인 방법이 있다. 전자의 경우, 가공에 사용 되는 연삭숫돌을 여러 개의 얇은 휠의 조합으로 가정하고 엔드밀 모재 역시 여러 개의 얇은 두께의 실린더로 가정한 후 각각의 교점으로부터 가공단면을 예측하였으며[6][15], 후자의 경우 엔드밀 가공시 휠과 엔드밀의 접촉점에서의 공통법선은 반드시 휠의 중심축을 통과한다는 기본관계에 의한 수학적인 방법으로 가공단면을 예측하였다[7][12][13]. 이 방법을 이용할 때, 엔드밀의 홈과 연삭휠의 접선관계에 의해 두 개의 법선의 기울기가 존재하는 경우 수정작업이 필요하며 유일한 휠형상의 예측이 어려울 경우에는 홈형상의 재설계가 필요하다는 단점이 있다. 국내에서는 고성림[3] 등에 의해, simulation 에 의한 방법을 사용한 나선형 홈형상 예측 소프트웨어가 개발된 적이 있으며 국외에서는 축적된 경험에 의한 가공데이터의 구축으로 통계적 방법이 시도되었다[15].

본 연구에서는 Cutting simulation 에 의한 방법을 이용하여 엔드밀의 생크부, 목부 그리고 날부를 모델링하였다. 먼저, 엔드밀의 외형치수(in Fig. 1b)를 이용하여 생크부를 모델링하고 연삭숫돌의 중심 데이터(Pw in Fig. 3)를 이용하여 연삭숫돌을 위치시킨다. 엔드밀 모재와 연삭숫돌간의 cutting simulation 을 이용하여 목부를 모델링하고 목부의 끝단에서 엔드밀 단면형상 곡선을 획득하였다. 나선형 홈형상을 생성하기 위해 추출된 단면형상 곡선을 나선형 가이드 곡선에 따라 스위핑하였다. 엔드밀 형상 모델링을 위한 추가적인 치수는 엔드밀의 날수(Nf), 리드값(pitch) 그리고 목부길이가 있다.

3.1 Shank and neck part modeling

생크부는 원통형 솔리드 모델로써 Fig. 1b 의 직경(D_2)와 길이(L_3)변수를 이용하여 모델링 하였다. Cutting simulation 을 이용하여 목부를 모델링하기 위해서는 연삭숫돌과 엔드밀 모재가 필요하며 Fig. 3a 에 나타난 형상치수를 이용하여 연삭숫돌을 모델링 하였다. 그리고 Fig. 3 b 에 나타나 있는 엔드밀 모재에 대한 연삭숫돌의 상대적인 위치정보를 이용하여 위치시킨다. Fig. 4a 는 연삭숫돌이 위치한 형상을 나타낸 그림이며, cutting simulation 을 수행하기 위해 Fig. 4b 와 같이 엔드밀 모재가 나선형 운동(회전 및 이동)을 하게 된다.



(a) (b)

Fig. 4 Positioning and transformation of grinding wheels and blank

실제가공 공정에서는 연삭숫돌의 중심 데이터가 고정되어 있고 엔드밀 모재가 변환운동을 하게 된다. 그러나 내부 연산시간을 줄이기 위해 연삭숫돌을 엔드밀 모재의 중심축에 대해 회전 및 이동변환을 하게 하였다. Cutting simulation 을 적용하기 위한 연삭숫돌의 이동 및 회전 변환값은 엔드밀의 헬릭스각($Ø_3$, 날수(Nf), 날부길이(L_1)를 이용하여 구할 수 있으며, 연삭숫돌의 회전각은 360 ° / Nf 에 의해 계산된다. Fig. 5 는 4 날 엔드밀 형상을 위한 연삭숫돌의 이동 및 회전변환을 나타낸다.

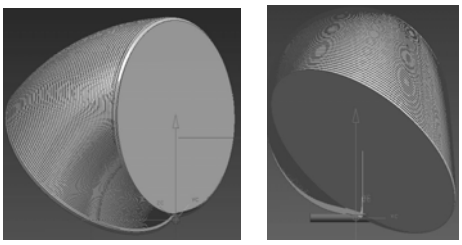


Fig. 5 Wheel transformation example

이제 회전 및 이동 변환된 연삭숫돌과 엔드밀 모재와의 불리언 연산(Boolean operation)을 통해 Fig. 6 과 같이 모재로부터 연삭숫돌을 제거해 나갈 수 있다. 하나의 목부분이 완료되었다면 모재의 축을 중심으로 제거된 형상을 날 수만큼 원형패턴화 하여 엔드밀의 목부분 모델링을 완료한다.

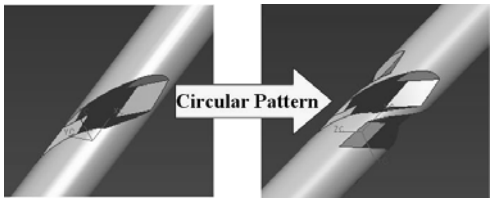


Fig. 6 Neck part model by boolean operation

3.2 Helical flute part modeling

엔드밀의 단면형상 곡선은 4.1 절에서 생성한 목부 모델을 이용하여 구하였다. 엔드밀의 중심축에 수직하고 목부길이만큼 떨어진 평면을 생성한 후 솔리드 모델과의 교차곡선을 구하면 Fig. 7 과 같다.

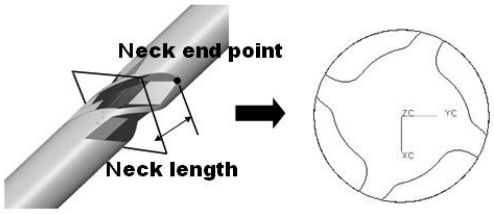


Fig. 7 Extraction of sectional profile curve

엔드밀의 날부형상은 추출된 단면형상 곡선을 이용하여 생성하였다. Fig. 8 과 같이 단면형상 곡선을 날부길이와 헬릭스각을 이용하여 엔드밀 모재의 중심축을 기준으로 일정간격으로 회전시켜 배열한 후 스위핑 (Sweeping)하였다.

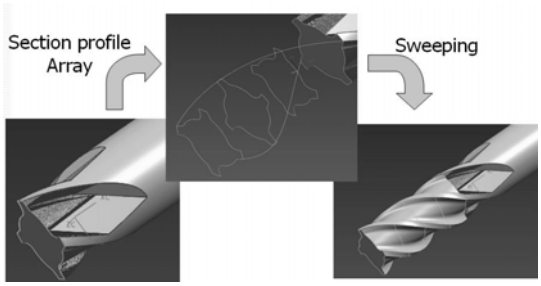
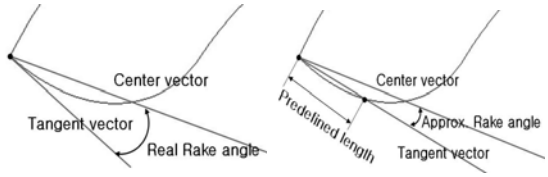


Fig. 8 Helical flute modeling

3.3 Computation of cutter geometry

엔드밀의 목부로부터 획득된 단면형상 곡선은 스플라인 곡선이며 경사각, 홈골반경, 엔드밀의 날두께를 계산하기 위해 직선과 호로 근사화하였다.

이상적인 경사각은 Fig. 9a 와 같이 엔드밀의 날끝단에서의 접선벡터와 엔드밀 중심과 이루는 벡터와의 각도로 정의된다. 그러나 실제 현업에서 경사각을 측정할 때에는 Fig. 9b 와 같이 일정량의 직선 가정구간을 고려하여 근사 경사각을 측정하고 있다.



(a) Ideal (b) Approximate

Fig. 9 Definition for rake angle

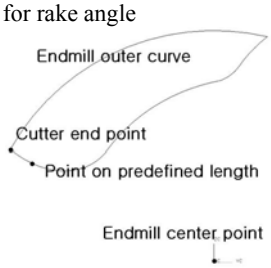


Fig. 10 Points data to calculate rake angle

Cutter end point 는 단면형상 곡선의 최외각 점 데이터로써 Fig. 5 에 나타난 엔드밀 모재의 축방향에 대한 연삭숫돌의 회전방향으로 찾을 수 있다. 또한 Cutter end point 에서 직선가정구간만큼 떨어진 점의 좌표를 Point on predefined length 라고 정의하고 (Fig. 10) 이는 수치해석적인 방법 중 bisection method 를 이용하여 구하였다. 탐색된 Cutter end point, Point on predefined length, Endmill center point 를 이용하여 근사 경사각을 계산하였다.

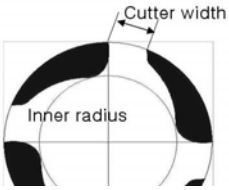


Fig. 11 Inner radius and cutter width

홈골반경은 Fig. 11 과 같이 엔드밀을 축방향과 수직하게 절단하였을 때의 날부단면과 중심축과의 최소거리를 의미한다. 따라서 직선과 호로 근사화된 단면형상 곡선과 엔드밀의 중심점과의 최소거리를 계산하였다. 마지막으로 엔드밀의 날두께(Cw)는 연삭숫돌의 가공으로 생성되는 날부의 양끝점간의 직선거리로 정의하고 연속하는 단면형상 곡선의 Cutter end point 를 이용하여 구하였다.

4. Prediction of wheel geometry and positioning data

4 절에서는 Fig. 3a 에 나타난 연삭숫돌의 형상치수와 Fig. 3b 에 나타난 연삭숫돌의 CL 데이터 혹은 위치치수(wheel setting angle, center point, offset value)를 입력변수로 cutting simulation 에 의한 엔드밀 3D

형상을 생성하였다. 바꾸어 말하면, 경사각과 같은 치수 파라메터를 만족하는 엔드밀을 설계하기 위해서는 연삭가공을 위한 위치치수가 필수 적이라 할 수 있다.

엔드밀의 성능을 결정하는 중요한 인자는 경사각, 홈골반경 그리고 엔드밀의 날두께이다. 이 중에서 경사각은 고속가공시 엔드밀의 이송분력과 배분력에 영향을 주며 가공시의 표면 오차에도 영향을 미친는 것으로 알려져 있다[1]. 나선형 홈형상에 의해 경사각이 결정된다고 할 때, 설계자는 가능한 정밀한 홈형상을 예측할 수 있어야 한다. 그러나 정밀한 나선형 홈형상을 생성하기 위해서는 설계자가 연삭숫돌의 형상치수와 위치치수 모두를 고려하여야 하므로 해석적인 방법으로 홈형상을 설계하는 것은 어렵다.

4.1 Relations among parameters

현재 경사각과 같은 입력 치수를 만족하는 나선형 홈형상을 설계하고자 할 때, 설계자는 시행착오를 거쳐 연삭숫돌의 형상치수와 위치치수를 결정하고 있다. 따라서, 각 파라메터 사이의 관계를 연구함으로써 설계 파라메터를 예측하기 위한 효율적인 방법을 찾는 것이 필요하다.

엔드밀의 설계 파라메터, 연삭숫돌의 형상치수 및 상대적인 위치치수는 3 절의 Fig. 1 과 Fig. 3 에 나타나있다. 본 연구에서는 엔드밀의 형상치수, 연삭숫돌의 형상 및 위치치수를 이용하여 엔드밀의 경사각, 홈골반경, 날두께를 계산하는 알고리즘을 이용하여 각 변수간의 관계를 조사하였다. 몇 개의 파라메터 사이의 관계를 Fig. 12 에 나타내었다.

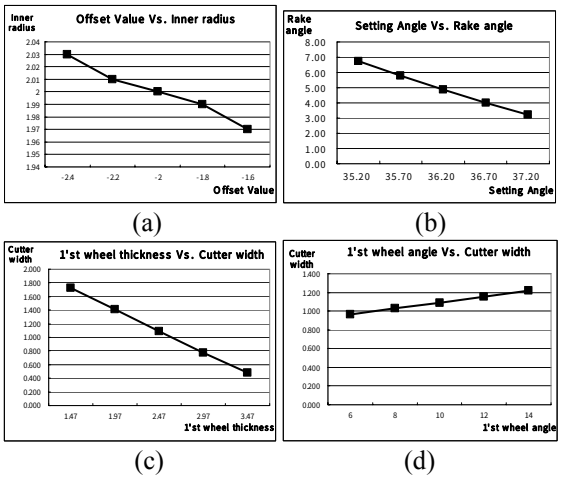


Fig. 12 Relations between parameters: (a) Offset value vs. Inner radius, (b) Setting angle vs. Rake angle, (c) 1st wheel thickness vs. Cutter width, (d) 1st wheel angle vs. Cutter width

Fig. 12a 는 옵셋값(Fig. 3b 의 Do)에 대한 홈골반경의 관계를 나타낸다. 옵셋값이 음의 방향으로 커질수록, 즉 엔드밀 모재의 중심축과 멀어질수록 홈골반경이 작아짐을 알 수 있다. Fig. 12b 는 세팅각(Fig. 3b 의 α)에 대한 경사각의 변화를 나타낸다. 세팅각은 엔드밀 모재와 연삭숫돌의 중심축이 이루는 각으로 홈골반경에는 영향을 주지 않고 경사각에만 영향을 주는 것을 알 수 있다. Fig. 12c 는 연삭숫돌 1 차두께(Fig. 3a 의 t1)에 대한 엔드밀의 날두께의 변화를 나타낸다. 연삭숫돌의 1 차 두께가 증가할수록 연삭되는 면적이 커지게 되고 날두께는 작아짐을 알 수 있다. 마지막으로 연삭숫돌의 1 차성형각(Fig. 3a 의 θ_1)에 대한 날두께를 조사하였다. Fig. 12c, Fig. 12d 와 같이 t1, θ_1 변수는 날두께에 영향을 주지만 t1 의 기울기 변화율이 θ_1 보다 큼을 알 수 있다.

그 외의 파라메터(t2, θ_1, θ_2)는 엔드밀의 경사각, 홈골반경, 날두께에 영향을 주지 않는 것으로 조사되었다. Table 2 에 연삭숫돌의 파라메터가 엔드밀의 형상에 미치는 영향에 대해 정리하였다.

Table 2 Estimated relations between parameters

Wheel parameter	Cutter geometry	Behavior
Pw (xw,yw)	Inner radius	(xw, yw) ∝ Inner radius
α (setting angle)	Rake angle	α ∝ 1/Rake angle
t1	Cutter width	t1 ∝ 1/Cutter width
t2, θ_1, θ_2	Cutter width	Fixed

추가로 cutting simulation 를 통한 테스트의 결과에 의하면 연삭숫돌의 1 차성형각(θ_1), 1 차두께(t1), 2 차성형각(θ_2), 전체두께(t2)에 의해 영향을 미치는 부분은 Fig. 13 과 같다.

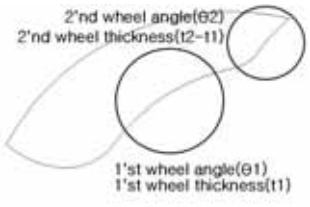


Fig. 13 Local influence of wheel geometry to the shape of the sectional profile curve

4.2 Computation of wheel geometry and positioning data

앞서 설명한 바와 같이, 연삭숫돌의 파라메터 변화에 대한 엔드밀의 기하형상 변화는 증가 또는 감소경향을 보인다. 따라서 설계하고자 하는 엔드밀의 치수(경사각, 홈골반경, 날두께)를 만족하는

연삭숫돌의 형상 및 위치치수를 결정하기 위해 Fig. 14 와 같이 반복연산을 수행하였다.

본 연구에서는 4 절에서 설명한 cutting simulation 방법을 활용하여 엔드밀의 형상정보를 계산하였다. 그러나 엔드밀을 모델링하는 과정에서 목부 생성을 위한 연삭숫돌의 변환과정과 Boolean 연산과정에 많은 시간이 소모되어 반복연산에 대해 비효율적인 것으로 나타나 연삭숫돌과 엔드밀 모재와의 교차형상(intersection body) 모델을 이용하여 엔드밀의 형상정보를 계산하였다.

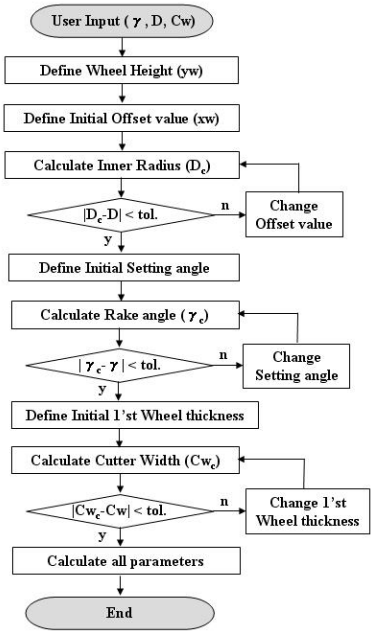


Fig. 14 Prediction of wheel geometry and position

먼저, 사용자가 경사각, 홈골반경 및 날두께를 입력하면 숫돌높이를 결정한다. 숫돌높이는 홈골반경에서 연삭숫돌의 코너반경 값을 뺀 높이값으로 정의하였고 옵셋값을 변화시켜 홈골반경을 계산하였다. 코너반경값은 연삭숫돌을 제작하면서 발생하는 성형오차로써 0.1~0.2mm 값으로 알려져 있다. 홈골반경이 결정되면 세팅각을 변화시켜 경사각을 계산하였다. 마지막으로, 연삭숫돌 1 차두께를 변화시켜 가면서 엔드밀의 날두께를 계산하였다. 연삭숫돌의 나머지 형상변수(t2, θ_1, θ_2)는 각각 경험적으로 결정된다(e.g., t2 = 1.8 t1, $\theta_1 = 10^o$, $\theta_2 = 45^o$).

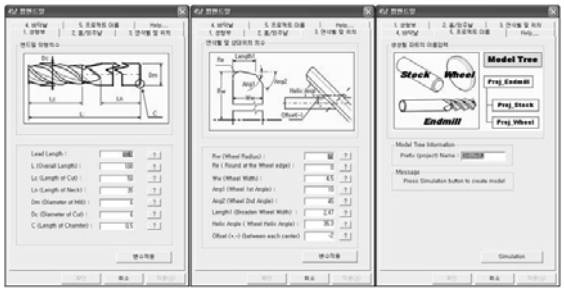
Table 2 에 의하면 옵셋값은 홈골반경에 대해 선형적인 경향을 보이고 옵셋값의 범위는 엔드밀의 직경값에 제한되므로 초기 경계값 입력이 비교적 쉽게 결정될 수 있으며 가상위치법(false position method)을 이용하여 3~4 회의 반복 계산으로 원하는 해를 탐색 할 수 있다. 그 외의 파라메터도 같은 방법을 적용하였다.

5. Illustrated example

본 연구에서 개발된 프로그램은 엔드밀 형상 모델링과 연삭숫돌의 형상 및 위치변수를 예측하는 두 가지 모듈로 구성되어 있고 상용 CAD/CAM 시스템인 Unigraphics Open API 를 활용하였다.

6.1 Shape modeling

Fig. 15 와 Fig. 16 은 개발된 소프트웨어의 GUI 와 생성된 엔드밀 3D 모델을 나타낸다. Table 3 은 4 날 6Ø 엔드밀 모델링에 필요한 엔드밀의 외형치수, 연삭숫돌의 형상 및 위치치수를 나타낸다. 엔드밀의 단면 형상곡선과 모델링 형상을 Fig. 16 에 나타내었다.



(a) (b) (c)

Fig. 15 User Interface: (a) End-mill dimensions, (b) Wheel dimensions and position (c) Auxiliary Input data

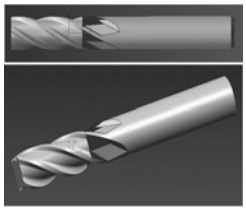


Fig. 16 Section profile curve and solid model

Table 3 Design and machining parameters

Dim.	value	Dim.	value	Dim.	value
Ø3	30.03	D	1.89	R	0.5
D_2	6.0	α	36.3	D_1	6.0
L_1	35	L_{neck}	15	L_2	50
Dw	150	t1	2.47	t2	4.5
θ_1	10	θ_2	45	Do	-2.0
Pw	Xw= -2.0, Yw=76.09, Zw=0.0				

획득된 단면형상 곡선을 이용하여 엔드밀의 형상치수를 simulation 한 결과 경사각과 홈골반경이 각각 5.914°, 1.991mm 였으며 실제 제작된 엔드밀의 형상치수(6°, 1.89mm)와 비교하였을 때 오차가 작은 것을 알 수 있었다.

6.2 Prediction of wheel geometry and position

Fig. 17 은 사용자에 의해 입력된 엔드밀의 형상치수를 만족하는 연삭숫돌의 형상 및 위치치수를 결정하기 위한 GUI 를 나타낸다.

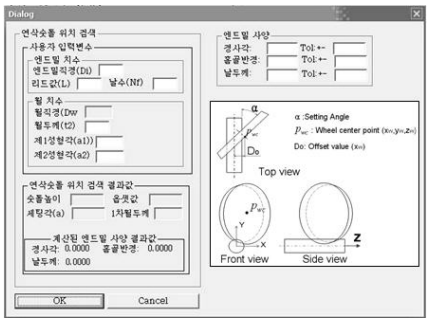


Fig. 17 Wheel geometry simulation window

사용자 입력변수는 Table 4 와 같다. Fig. 14 에 나타낸 변수 탐색과정을 통해 Table 5 와 같은 결과값을 얻었으며 수행시간은 펜티엄 4 2.8GHz CPU 에서 약 20 분이었다. 그리고 결과값(연삭숫돌의 형상 및 위치치수)을 이용하여 엔드밀 모델링을 수행하였으며 Fig. 18 과 같이 RP machine 을 이용하여 시작품을 생성하였다.

Table 4 Input parameters for wheel geometry

Dim.	Value	Dim.	value	Dim.	value
Di	6.0	Ø3	30.03	Nf	4
γ	6.0	D	1.89	Cw	0.9
θ1	10.0	θ2	45.0	Tol.	0.01

Table 5 Search result

Dim.	Value	Dim.	value	Dim.	value
Pw(yw)	1.79	Pw(xw)	-2.093	α	37.641
t1	2.135	t2	3.843	γ	6.01
D	1.884	Cw	0.90		

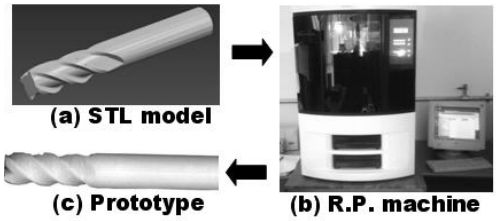


Fig. 18 Rapid Prototyping of the end-milling cutter

7. Conclusions

본 연구에서는 엔드밀의 연삭가공에 사용되는 가공조건과 엔드밀의 형상치수 및 연삭숫돌의 형상치수를 입력 데이터로 하여 cutting simulation 방법을 이용한 엔드밀의 형상설계 기법을 개발하였다. 또한 기존에는 정확한 엔드밀 형상을 설계하기 위해 설계자의 반복적인 작업이 필요하였지만 엔드밀의 설계입력데이터(경사각, 홈골반경, 날두께 등)를 만족하는 연삭숫돌의 형상치수와 위치치수를 탐색하도록 하여 설계시간을 단축하도록 하였다. 설계단계에서는 확인할 수 없는 나선형 홈형상과 목부형상을 엔드밀 설계단계에서 3D 모델로 확인 할 수 있도록 하여 엔드밀 설계 시 시제품을 제작하지 않고도 제품의 형상을 파악할 수 있게 되었다. 또한 실제 엔드밀 가공에 사용되는 변수를 이용하여 엔드밀 형상을 생성하였으며 단면형상 곡선을 이용한 엔드밀 형상변수 값을 비교하여 오차를 검증하였다. 본 연구를 통해 계산된 연삭숫돌의 중심데이터는 엔드밀의 CL data 로 활용될 수 있으며 엔드밀의 제작에 도움을 줄 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역 전략산업 석.박사 연구인력 양성사업(AROOKB-2201-220107)의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Ko, S. L., Lee, S. K. and Bae, S. M., “Study on the Design of End Mill Geometry,” J. of KSPE, Vol. 18, No. 8, pp. 24-31, 2001
2. Reuteler, A., “Cutting Tool Technology in High-Speed Milling(HSM),” FRAISA SA, 1997.
3. Ko, S. L., “Cutting Tool Development for Precision High-Speed Machining,” J. of KSPE vol. 11, No. 3, pp15-29, 1994.
4. Ko, S. L., “Development of Software for Determining Grinding Wheel Geometry and Setting Condition in End Mill Manufacturing,” J. KSPE, Vol. 13, No. 8, pp. 164-174, 1996.
5. Ko, S. L., “Development of Software for Determining Grinding Wheel Geometry and Setting Condition in End Mill Manufacturing,” J. KSPE, Vol. 13, No. 8, pp. 164-174, 1996.
6. Kaldor, S., Rafael, A.D. and Messinger, D., "On the CAD of Profile for Cutters and Helical Flutes Geometrical Aspects," CIRP, Vol. 37/1, pp. 53-56, 1988.
7. Sheth, D. S. and Malkin, S., “CAD/CAM for geometry and Process Analysis of Helical Groove Machining,” Annals of CIRP, Vol. 39/1, pp. 129-132, 1990.

8. Friedman, M and Meister, I., “The Profile of a Helical Slot Machined by a Form-Milling Cutter,” Annals of the CIRP, Vol.37/1, pp. 53~56, 1973.
9. Shi, P. L., Wang, W. and Tang, Y. Y., “Study on the mathematical model for manufacturing ball nose end mill,” J. of Mechanical Engineering(in Chinese), Vol. 30/5, pp. 55~60, 1994.
10. Kang, S. K., Ehmann, K. F. and Lin, C., “A CAD approach to helical groove machining mathematical model and model solution,” International J. of Machine Tools and Manufacture, Vol. 37/1, pp. 101-117, 1997.
11. Fuji, Y. and Iwabe. H., “Cross-Sections and Flexural Rigidity of Helical End mills,” JSPE, Vol. 49/6, pp. 45~50, 1983.
12. Agullo-Batell, J., Cardona-Foix, S. and Vinas-Sanz C., “On the Design of Milling Cutters or Grinding Wheels for Twist Drill Manufacture A CAD Approach,” Proceedings 25th MTDR conf., pp. 315-320, 1985.
13. Ehmann, K. F., “Grinding Wheel Profile Definition for the Manufacture of Drill Flutes,” Annals of CIRP, Vol. 39/1, pp. 129-132, Vol. 39/1, pp. 153-156, 1990.
14. Ekambaram, B. and Malkin. S., “CAD Software for Helical Flute Grinding of Milling Cutter,” Transactions of NAMRI/SME, Vol. 21, pp. 181~187, 1993.
15. Tlusty, J., Smith, S. and Zamudia, C., “Operation Planning Based on Cutting Process Model,” Annals of the CIRP, Vol. 40/1, pp. 95-98, 1991.