

매뉴얼 프로그램에 의한
非球面 형상 가공에 관한 연구
박준용(충남대 대학원), 권영균, 이동주(충남대)

Abstract

Copy machines have been used in the 3 dimensional shape machining like the non-sphere surface.

This study is intended to show the possibility of manufacturing of a non-sphere shape without a exclusive CAM(Computer Aided Manufacturing) software in the process of metallic mold.

It has been examined under the two types of working conditions. One is a cutting by manual programming and the other is a cutting by a general-purpose CAM software.

Two kinds of output data were compared and analyzed, and data by a manual program were discovered more accurate than those of a general-purpose CAM software.

In this study, I came to a conclusion it is possible to manufacture a 3 dimensional shape without a exclusive CAM software.

1. 서론

비구면 곡면 형상을 절삭가공함에 있어서 전통적으로 Copy밀링 방식이 사용되어 오고 있으나 NC기계와 CAM 시스템의 보급으로 이의 가공이 더욱 용이해지고 있다. Copy밀링 방식에서는 나무나 석고 등으로 실물모형을 제작하고, Copy 밀링기계에서 Tracer(끝이 구형인 붓)로 실물모형을 따라가게 함으로써 절삭공구의 움직임 제어한다.

NC 밀링에서는 수학적으로 표현된 계산모형으로부터, 공구의 위치를 계산해내고 이 수치데이터를 NC 기계의 동작제어에 이용한다.

이러한 가공에는 곡면의 형태, 크기 및 요구정밀도에 따른 적절한 가공조건이 요구되는데, 볼 엔드밀 가공에서 나타나는 다양한 절삭특성으로 인하여 효과적인 가공조건을 설정하는데 어려움이 따른다.

또한 3차원 자유곡면 가공에 사용되는 볼 엔드밀의 절삭조건은 공구의 구조에 따른 역학적 복잡성 때문에 경험적으로 부여되는 것이 대부분이었고 곡면의 형태에 따라 절삭조건이 불규칙하게 변하게 되어 이로 인한 정밀절삭 및 효율적인 가공에 많은 문제가 야기되고 있다^[1].

볼 엔드밀에 의한 기존의 연구들로는 K. Kanda가 자유곡면의 밀링에서 최적절삭에 상반되는 특성을 만족시키고, 조도를 상승시키기 위한 실험으로서 고속, 고이송 절삭실험을 하였으며^[2], T. K, Hiroshi는 자유곡면 가공용 공구의 절삭성능을 높이기 위해 절삭날의 가공과 재연삭이 용이하도록 원주(Circular) 가공에 적합한 CEB(Circular Edge Ball End Mill)을 사용하는 실험을 하였다^[3]. 또한 C. G. Sim은 볼 엔드밀 가공에 있어서 절삭력에 의한 예측으로 절삭성을 파악하였고, 볼 엔드밀의 처짐에 의해 가공특성과 간섭특성을 고찰하였다^[4].

또한 김경균은 볼 엔드밀을 이용한 고속가공시 금형제품의 형상가공특성을 파악하였고^[5], 윤경석은 깊은 코너부에서 가늘고 긴 볼 엔드밀에 의한 절삭시 공구변형 특성을 연구하였고^[6], 김성운은 가공속도 최적화를 통한 생산성 제고를 위하여 각종 가공조건에 변화에 따른 절삭특성을 연구하였으며^[7], 권영균은 4개의 각기 다른 각도의 경사면을 따라 상방향 절삭(Upward cutting)과 하방향 절삭(Downward cutting)을 실시하고 각 방향의 절삭특성과 최적의 절삭방법을 규명하였다^[1].

이와 같이 지금까지의 연구 경향을 살펴보면 절삭력에 의한 가공성 예측, 다양한 공구의 사용으로 절삭성 고찰 등 많은 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 CAM 시스템 없이도 금형 형상에 많이 이용되고 있는 비구면 형상을 가공할 수 있음을 제시하고, 가공 특성을 고찰하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 프로그래밍에 의한 매뉴얼 가공과 CAM Software를 이용한 가공을 하여 각각의 가공방법에 따른 장단점에 대해 비교해 보았다.

또한 볼 엔드밀에 의한 곡면 가공에서 요구되는 표면조도와 형상정밀도를 얻기 위하여 음함수식을 이용한

가공과 큐빅테크의 오메가 캠을 이용한 곡면 가공을 병행하여 실시하고, 각각의 절삭방법에 따른 형상정밀도를 비교, 분석하여 비구면 형상의 하나인 쌍곡 포물면의 최적의 가공조건과 절삭특성을 규명하고자 한다.

2. 관계 이론

2.1 2차 곡면의 음함수식 표현^[8]

2차 곡면은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$F(x,y,z) = ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + eyz + fzx + gx + hy + kz + q = 0 \dots\dots\dots (2.1)$$

상기 식은, 구체적인 2차 곡면들의 형상에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

구(Sphere)

$$F(x,y,z) = (x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 + (z-z_c)^2 - r^2 = 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

타원체(Ellipsoid)

$$F(x,y,z) = \frac{(x-x_c)^2}{a^2} + \frac{(y-y_c)^2}{b^2} + \frac{(z-z_c)^2}{c^2} - 1 = 0 \dots\dots\dots (2.3)$$

분리형 쌍곡면 (hyperboloid of 2 sheets)

$$F(x,y,z) = \frac{(x-x_c)^2}{a^2} - \frac{(y-y_c)^2}{b^2} - z = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

일체형 쌍곡면 (hyperboloid of 1 sheet)

$$F(x,y,z) = \frac{(x-x_c)^2}{a^2} + \frac{(y-y_c)^2}{b^2} - z = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

2.2 2차 곡면의 Parameter식 표현^[8]

2.1 절의 음함수식 표현들은 다시 매개변수 (u, v)를 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

구 ($0 \leq u \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 2\pi$) $\dots\dots\dots (2.6)$

$$x = r \cdot \cos u \cdot \sin v + z_c$$

$$y = r \cdot \cos u \cdot \cos v + y_c$$

$$z = r \cdot \cos v + z_c$$

타원체 ($0 \leq u \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 2\pi$) $\dots\dots (2.7)$

$$x = a \cdot \cos u \cdot \sin v$$

$$y = b \cdot \sin u \cdot \sin v$$

$$z = c \cdot \cos v$$

분리형 쌍곡면 ($0 \leq u \leq 2\pi, -\infty \leq v \leq \infty$)
 $\dots\dots\dots (2.8)$

$$x = a \cdot \cos u \cdot \sinh v + x_c$$

$$y = b \cdot \cos u \cdot \sinh v + y_c$$

$$z = c \cdot \sin u \cdot \sinh v + z_c$$

일체형 쌍곡면 ($0 \leq u \leq 2\pi, -\infty \leq v \leq \infty$)
 $\dots\dots\dots (2.9)$

$$x = a \cdot \cos u \cdot \cosh v + x_c$$

$$y = b \cdot \sin u \cdot \cosh v + y_c$$

$$z = c \cdot \sinh v + z_c$$

2.3 CL 테이더의 생성

그림 2.1에서 곡면상의 한 점에 구(그림에서는 볼 앤드밀 하단의 반구)를 접하도록 위치시키면 접점 r_c 에서 구의 중심점을 향하는 선분을 정의할 수 있다. 이 선분의 길이를 1로 잡으면 그림 2.2와 같이 점 r_c 에서의 곡면의 단위접선벡터 N 이 얻어진다.

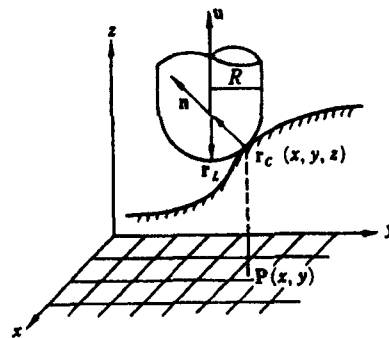


Fig. 2.1 NC milling process

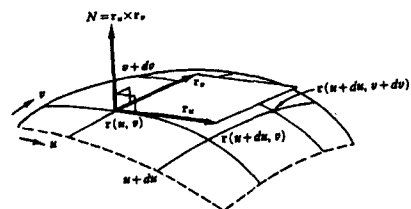


Fig. 2.2 Tangent and normal vectors of Surface

곡면이 매개변수식 $r(u,v)$ 로 정의되면 u 방향의 미분 r_u 는 다음과 같이 정의된다.

$$r_u = \lim_{du \rightarrow 0} \frac{r(u+du, v) - r(u, v)}{du} = \frac{\partial r(u, v)}{\partial u} \dots \dots \dots (2.10)$$

이 때 r_u 를 u 방향의 접선벡터라고 부르는데, v 방향에 대해서도 동일한 방법으로 접선벡터 r_v 가 정의된다. 위 그림에서 표시된 바와 같이 점 $r(u, v)$ 에서의 곡면의 법선벡터는 r_u 와 r_v 에 수직이다. 따라서 곡면의 단위법선벡터는 다음과 같이 정의된다.

$$n = (r_u \times r_v) / |r_u \times r_v| \dots \dots \dots (2.11)$$

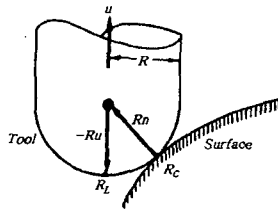


Fig. 2.3 Calculation of CL data

NC가공에서 공구의 위치를 나타내는 좌표값을 CL 데이터(Cutter Location Data)라 부르는데, 그림 2.3과 같이 볼 엔드밀에서는 공구의 바닥 끝점을 기준으로 삼는다. 여기서의 CL 데이터 r_L 는 다음과 같이 구해진다.

$$r_L = r_c + R(n - u) \dots \dots \dots (2.12)$$

- r_c : 접촉점
- R : 공구반경
- n : 각 점에 대한 법선벡터
- u : 구방향 단위벡터(0, 0, 1)

3. 실험장치 및 가공방법

3.1 실험 장치

시편의 크기는 80mm×80mm×80mm로 하였으며 재질은 플라스틱으로 선정하였다.

본 실험에서는 이론식과 CAM Software에서 구한 쌍곡포물면을 가공하기 위한 기계로서 독일의 DECKEL사의 CNC밀링 공작기계를 사용하였으며 표 1과 같은 사양을 가지고 있다. 또한 CAM Software로서는 큐빅테크사의 OMEGA CAM(ver3.0)을 이용하였다.

Table 1. Specifications of CNC milling M/C

Range of Travel X,Y,Z Axis	300 x 220 x 400
Spindle Speed	80-8000 RPM
Feed Speed	4-2000 mm/min
Feed Moter	A.C 1.3 KW
Rapid Travers	4000mm/min
Standard Controller	FP2NC DECKEL Dialog4

시편을 가공하기 위해 사용된 공구는 Ø10인 ball end mill을 사용하였다.

3.2 가공 방법

본 실험에서는 다음의 두가지 방법으로 가공하여 각각을 비교·분석하였다.

첫 번째 가공방법으로는 프로그래밍을 통하여 산출된 Data를 NC 가공에서 공구의 위치를 나타내는 좌표값인 CL-Data(Cutter location data)로 변환한 뒤 NC 밀링머시인에 전송해서 가공하는 방식이다.

두 번째 가공방법으로는 OMEGA CAM에서 Part Program을 이용하였으며 X-Z, 와 Y-Z 단면에서 쌍곡포물면의 변수인 a와 b값을 각각 4, 8, 12로 대입한 단면커브를 완성한 후 3차원 좌표에서 단순이동곡면 명령을 이용하여 곡면을 완성하였다.

그후 오메가 캠에서 만들어진 CL데이터의 3차원 좌표값 X, Y, Z중에서 X,와 Y값을 이론적 공식에 대입하여 이론값 Z를 추출해 냈다. 매뉴얼 프로그램에 의한 Z값과 오메가 캠에서 생성된 Z값을 Basic프로그램을 이용하여 오차의 최대값, 평균오차 등을 찾아냄으로서 이론적 데이터와 캠데이터의 오차를 비교 분석해 보았다.

3.2.1 음함수식을 이용한 쌍곡포물면의 가공

그림 3.1은 음함수식을 이용하여 산출된 데이터를 3차원 좌표상에 구현한 그림으로 a, b값은 각각 8이고 x, y의 범위는 -40부터 40까지이며 각도는 45도이다.

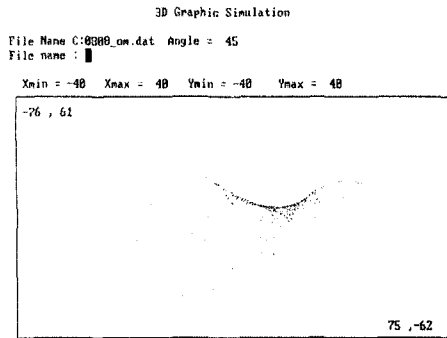


Fig. 3.1 Graphic simulation of hyperbolic paraboloid

3.2.2 오메가 캠을 이용한 쌍곡 포물면의 가공

오메가 캠을 이용하여 쌍곡 포물면을 구현하기 위해서는 먼저 X-Z와 Y-Z 단면좌표에 CV0와 CV1 곡선을 그리고, 3차원 좌표 상에서 한 개의 곡선을 다른 곡선을 따라 이동시키므로써 곡면이 정의되는데, 쌍곡 포물면의 생성을 구현하는 순서는 다음과 같다.

먼저 그림 3.2와 같이 단면좌표 X-Z를 설정하고 프로그램을 실행하여 CV0를 구하고, 단면좌표 Y-Z를 설정하여 프로그램을 실행하여 CV1을 구한다. 그리고 3차원 좌표상에 CV0와 CV1을 동시에 나타낸 뒤 하나의 곡선을 따라 다른 하나의 곡선을 이동하면 그림 3.3과 같은 쌍곡포물면이 구현된다.

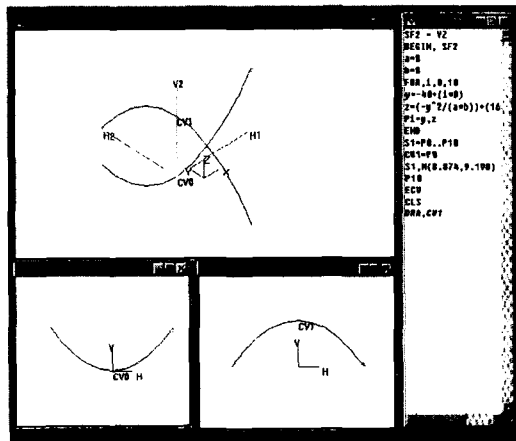


Fig 3.2 Formation of parabolas in X-Z, Y-Z cross section

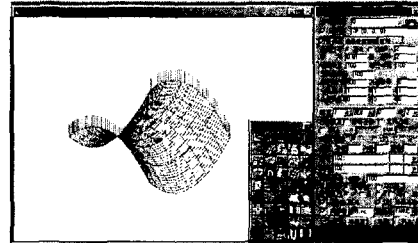


Fig 3.3 Generation of hyperbolic paraboloid

4. 결과 및 고찰

4.1 매뉴얼 가공과 캠가공의 비교

a=4, b=4를 대입했을 때 오메가 캠과 음함수식에 의한 데이터의 오차를 보여주는 그림은 다음과 같다. 그림 4-1은 동일한 (x, y) 좌표에서 오메가 캠과 음함수식에 의한 Z값의 오차를 70배 증폭했을 때 그래프의 일부이다. 또한, 그림 4-2는 매뉴얼 프로그램에 의해 산출된 정확한 데이터와 오메가캠 데이터의 오차를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 곡선의 기울기가 심하고 오차도 전반적으로 크게 나타났다.

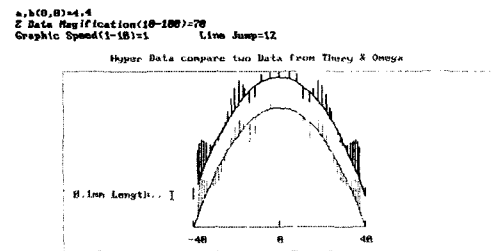


Fig. 4-1 Comparison of CAM data with theoretical data when a=b=4 (magnification=70)

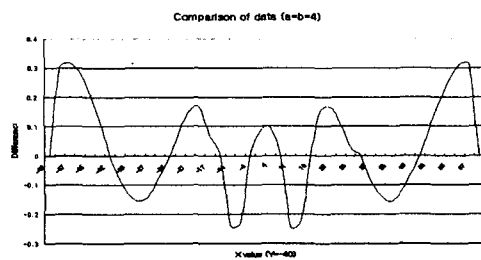


Fig. 4-2 Difference of CAM data with theoretical data when a=b=4

a=8, b=8을 대입했을 때 오메가 캠과 음함수식에 의한 데이터의 오차를 보여주는 것은 그림 4-3 및 4-4와 같다. 그림 4-3은 동일한 (x, y) 좌표에서 오메가 캠과 음함수식에 의한 Z값의 오차를 70배 증폭했을 때 그래프의 일부이다. 또한, 그림 4-4는 매뉴얼 프로그램에 의해 산출된 정확한 데이터와 오메가캠 데이터의 오차를 보여주고 있다. a=4, b=4를 대입했을 때보다 오차는 대체로 작은 편이나, 역시 곡선의 기울기가 심한 측면 부분에서 오차가 심하게 나타났으며 중심부에서는 비교적 작게 나타났다.

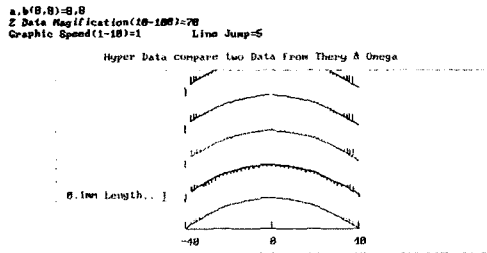


Fig. 4-3 Comparison of CAM data with theoretical data when a=b=8 (magnification=70)

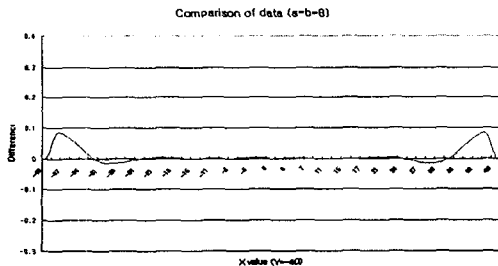


Fig. 4-4 Difference of CAM data with theoretical data when a=b=8

a=12, b=12를 대입했을 때 오메가 캠과 음함수식에 의한 데이터의 오차를 보여주는 것은 그림 4-5 및 4-6과 같다. 그림 4-5는 동일한 (x, y) 좌표에서 오메가 캠과 음함수식에 의한 Z값의 오차를 70배 증폭했을 때 그래프의 일부이다. 또한, 그림 4-6은 매뉴얼 프로그램에 의해 산출된 정확한 데이터와 오메가캠 데이터의 오차를 보여주고 있다. a, b에 4와 8을 각각 대입했을 때보다 오차는 더욱 작아졌다.

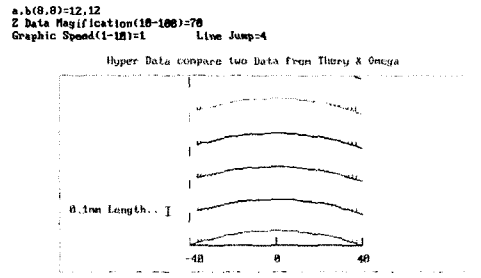


Fig. 4-5 Comparison of CAM data with theoretical data when a=b=12 (magnification=70)

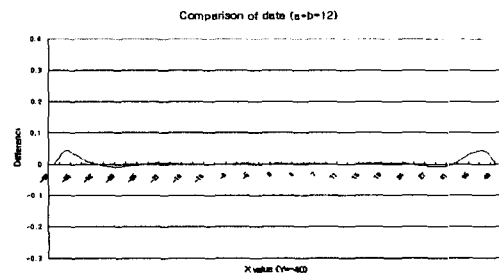


Fig. 4-6 Difference of CAM data with theoretical data when a=b=12

4.2 가공 결과

본 연구는 쌍곡포물면을 기존의 CAM 시스템과 매뉴얼 프로그래밍 기법을 이용한 가공에서의 장단점을 비교 고찰하고자 하였다.

이를 위하여 쌍곡 포물면을 수학적인 음함수식으로 표현하였고, 베이직 프로그램을 이용하여 가공하고자 하는 쌍곡 포물면의 수식에 의한 정확한 3차원 데이터를 생성하였다. 또한 NC 가공을 위하여 단위법선벡터만큼 공구보정한 CL Data를 산출하였다. 그리고 실제 가공을 위하여 NC 밀링머신에서 인식할 수 있도록 NC 데이터로 전환한 후 NC 밀링작업을 통해 쌍곡포물면 형상을 가공하였다.

다른 가공 방법으로 캠 소프트웨어를 이용하여 X-Z 및 Y-Z 평면에서 단면곡선을 구현한 뒤 3차원 좌표에서 단순이동곡면 명령을 이용하여 쌍곡 포물면의 데이터를 생성하였다.

그후 음함수식과 캠에서 생성된 3차원 좌표값을 상대 비교하여 최대값, 평균오차 등을 찾아냄으로써 이론적 데이터와 캠데이터의 오차를 비교, 분석하였다.

쌍곡포물면의 이론식 (2.1.5)의 a, b에 각각 4, 8,

12를 대입하여 만들어진 데이터와 오메카 캠에서 만들어진 데이터의 차이값을 비교한 결과 a, b 값이 작을수록 오차가 큰 것으로 나타났다. 또한 경사가 완만한 시편의 중앙부분 보다는 경사가 심한 외곽 부분의 오차가 비교적 심한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가공곡면의 기울기가 클수록 오차도 커진다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

이번 가공에 사용된 시편의 재질은 플라스틱이었기 때문에 절삭조건을 심각하게 고려하지 않았으나 실제 산업현장에서 3차원 입체가공을 하는 경우에는 가공하고자 하는 제품의 재질에 따라 절삭공구, 가공속도, 가공방향 등 다양한 조건을 고려해야 할 것이다.

5. 결 론

구형이나 육면체와 같이 정형화되어 있지 않은 비구면을 가공하기 위해서는 먼저 모형을 제작하고 이를 이용하여 모방가공을 하는 것이 일반적이다. 이는 대량생산이 아닌 주문생산을 하는 경우가 대부분인데, 본 연구에서는 말안장 모양의 쌍곡 포물면을 가공함으로써 경제적 채산성이 없는 소량 가공에 전용 CAM을 사용하지 않고 범용 NC 가공기를 이용하여 제품을 제작할 수 있음을 입증하고자 하였다.

캠을 통한 가공은 곡면형상과 공구의 이동경로 확인이 용이하고 가공경로의 선택이 자유로우며 가공이 매우 편리한 반면 오차 발생으로 인하여 잘못된 곡면을 정의할 수 있는 단점이 있음을 발견하였다. 반면에 음함수식에 의한 가공은 좌표계에 의하여 형상식이 변환되거나 표현이 어려운 경우가 있으나 수식에 의한 정확한 데이터를 추출하여 가공할 수 있음을 보여주었다.

음함수식을 이용한 모델링은 수학적 이론에 의한 정확한 데이터 산출이 가능하므로 수치와 가공에 있어서 매우 높은 정확도를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 범용 NC 밀링을 이용한 비구면체 가공 방법을 제시함으로써 산업현장에서 전용 캠을 사용하지 않고도 여러 가지 형태의 3차원 입체가공을 할 수 있다는 결론을 얻었다.

추후에는 이렇게 정형화된 곡면이 아닌 자유곡면을 가공할 경우에도 수식에 의한 프로그래밍을 통하여 모델링하고 가공할 수 있는 방법을 제시해야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] 권영균, “볼 엔드밀을 이용한 경사면 절삭에서의 상하방향 절삭특성 연구”, 충남대학교 산업대학원 석사논문, 2000
- [2] 大庫和孝 외 5인, “金型の 高品位, 高能率 仕狀切削法の 開發”, 日本精密工學會 제47권 4호, pp. 649-654, 1981
- [3] 岩浪律史, 衿木裕, “圓弧切れ刃 ホールエン トミルの 切れ刃形状と 切削性能”, 日本精密機械 學會 제48권 7호, PP. 906-912, 1981
- [4] 심충건, 양민양, “유연성이 있는 볼 엔드밀 공구의 처짐 모델과 절삭성에 대한 연구”, 대한 기계학회 논문집, 제 15권 3호, pp. 1067-1082, 1991
- [5] 김경균, 강명창, “볼 엔드밀을 이용한 고속가공에서 금형제품의 형상가공 특성파악”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 143-1476, 1997
- [6] 윤경석, “볼 엔드밀에 의한 펜슬가공시 공구변형 특성”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 157-160, 1997
- [7] 김성윤, 조영학, “볼 엔드밀을 이용한 금형가공에 있어서 이송속도 최적화에 대한 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 102-106, 1996
- [8] 홍익선, “타원체 피스톤 캠 모델의 모델링 및 가공에 관한 연구”, 충남대학교 산업대학원 석사논문, 1997