

인서트형 밀링커터의 복합5축가공 기술개발에 관한 연구

황종대*, 정윤교†

Study on the development of multi-tasking 5-axis machining for insert type milling cutter

Jong-Dae Hwang*, Yoon-Gyo Jung†

Abstract

This research presents a modeling and a manufacturing method of insert type milling cutters such as face cutter, flat endmill and ball endmill. The methods introduced in this paper adopts the multi-tasking 5-axis machining that is increasing machining accuracy of holder and position accuracy of bolting points. So this can be used in the basic document of the total package program that involves modeling and manufacturing module in various insert cutters.

Key Words : Insert type milling cutter, Flat endmill, Ball endmill, Multi-tasking 5-axis machining

1. 서론

현재 기계가공의 핵심적인 요소인 절삭공구 분야는 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 특히 인서트팁을 체결하여 커터로 사용하는 인서트형 밀링커터는 높은 절삭력과 긴 공구수명 등의 장점 때문에 최근에 매우 각광받고 있다. 그러나 면삭용 페이스커터만이 인서트형 커터로써 많이 활용되고 있을 뿐 평엔드밀이나 볼엔드밀은 여러 가지 특장점에도 불구하고 공구 제작상의 난점과 높은 가격으로 인해 일반 기업체에서 손쉽게 사용하기 어려운 실정이다.

현재 국내에서 인서트 커터를 생산하는 대부분의 업체는 인덱스 테이블을 3축 밀링이나 전용기에 장착하여, 매 공정

마다 테이블의 각도를 수작업으로 변경하면서 가공하고 있는 현실이다. 이러한 작업 방식은 인서트 Tip의 좌면과 볼팅 포인트의 정밀한 제어를 어렵게 하여 치수 불량 의 원인이 될 뿐만 아니라 가공 단가 상승을 유발하는 원인이 된다. 따라서 매공정마다 테이블의 각도를 일일이 세팅하지 않고도 수치제어를 통하여 5축 가공을 수행할 수 있는 5축 가공 기술의 적용이 제기되었다.

또한 인서트형 밀링커터의 형상특성상 선삭 공정이 반드시 필요하며 현재는 선반에서 선삭가공을 수행한 후에 가공물을 탈착하여 다시 전용기에 장착한 후 밀링가공을 한다. 이러한 가공 방식은 제품의 탈, 부착 과정에서 정밀한 치수제어를 어렵게 하고, 공작물의 기계 세팅에 따른

* 발표자, 창원대학교 대학원 기계공학과 (hjd2123@korea.com)
주소: 641-773 창원시 사림동 9번지 창원대학교 58103호
† 창원대 기계공학과

가공시간 지연 등의 단점을 갖는다. 따라서 선삭과 밀링을 동시에 수행할 수 있는 복합가공 기술의 접목이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 인서트형 밀링커터(이하, 인서트커터)를 정밀하고 경제적으로 제작하기 위해 위에서 제기한 두가지 핵심기술인 5축가공과 복합가공의 접목을 시도하여 기존의 가공 방법에 비해 향상된 정밀도와 생산성을 확보하려고 한다. 이를 위하여 다양한 종류의 인서트커터를 쉽고 빠르게 모델링하기 위한 자동모델링 기법에 관한 연구와 가공시간 및 공구경로 생성시간을 단축할 수 있는 5축 공구경로 생성에 관한 연구 및 공작기계의 각 Part와 공작물이 간섭하지 않으면서 가공시간을 단축시킬 수 있는 Post-Processing 과정에 대해 연구하고자 한다. 또한 실제 복합5축가공을 수행하여 본 연구에서 제기한 기법들에 대한 실효성을 검증하려고 한다.

2. 인서트커터의 종류 및 실험장비

2.1 인서트커터의 종류

본 연구에서 가공하고자 하는 인서트커터의 종류는 Fig. 1에 제시된 바와 같다. Fig. 1의 (a)는 평면 가공용으로 사용하는 페이스커터(Face cutter)로서 홀더의 끝에 팁(tip)이 1행(row)만 부착되므로 모델링 및 가공이 비교적 용이하여 현재 많은 활용이 이루어지고 있다. Fig. 1의 (b)는 측면 및 평면 가공용 평엔드밀(Flat endmill)로서 일정한 헬릭스 각을 따라 여러행(row)의 팁이 배열되므로 여유면과 팁사이의 적절한 배치를 필요로 한다. Fig. 1의 (c)는 곡면가공용 볼엔드밀(Ball endmill)로서 평엔드밀의 끝부분을 구형으로 만들고 원하는 반경의 R-팁을 배열하므로 모델링 시 평엔드밀 부와의 적절한 배치를 필요로 한다. 본 연구에서는 $\phi 63$ 페이스커터, $\phi 50$ 평엔드밀 및 $\phi 50$ 볼엔드밀을 대상으로 하였다.

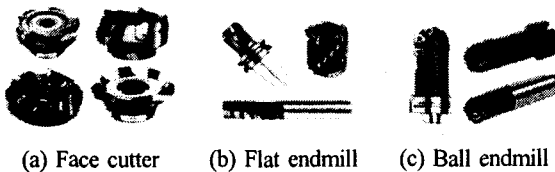


Fig. 1 Insert type milling cutters

2.2 실험장비

위와 같은 인서트커터를 가공하기 위한 장비는 서론에서 제기한 바와 같이 5축가공과 복합가공이 동시에 가능한 복

합5축가공기여야 한다. Fig. 2는 두가지 기능을 동시에 보유한 Integrex-200 복합5축가공기를 보여주며 Table 1은 장비의 규격을 나타낸다.

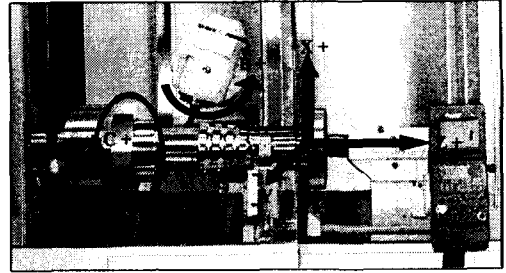


Fig. 2 Integrex-200 Multi-Tasking Machining Center

Table 1 Specification of Integrex-200

Model	Integrex-200
Company	Mazak(Japan)
Machine Limits	X580, Y160, Z1045, B225, C360
Turning Speed	5,000rpm
Milling Speed	12,000rpm
Max. Feedrate	38,000mm/min

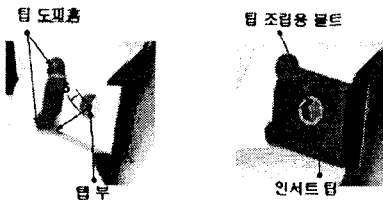
3. 인서트커터의 자동모델링

인서트커터는 주로 Fig. 1과 같은 세가지 종류가 사용된다. 가공 목적에 따라 세가지 종류로 분류한 후에도 결합되는 인서트 팁의 종류, 날의 수에 따라 전혀 새로운 형상을 가진다. 따라서 요구되는 인서트커터의 형상 모델링 정보는 매번 변경될 수 밖에 없다. 이와같은 모델링상의 난점을 해결하기 위하여 매개변수 모델링 기법을 사용하여 자동 모델링할 수 있으며 이는 매개변수의 정확한 선정으로부터 시작된다.

3.1 팁좌면의 형상 모델링

현재 각 공구사 마다 특징있는 팁을 출시하고 있으며 그 종류도 매우 다양화 복잡화 되고 있는 추세이다. Fig. 3에 팁 좌면과 도피홈 및 탭 부 모델링에 대한 개략도를 제시하였다. 팁이 장착되는 팁 좌면에서 매개변수화 해야 하는 첫 번째 요소는 팁 좌면의 형상 정보이다. 팁의 형상에 따라 팁 좌면의 형상 정보를 매개변수화하고 데이터베이스화 하여야 할 것이다. 이는 시중에 출시되고 있는 상용 팁에 대한 표준화 작업을 통하여 가능할 것이다. 본 연구에서는 시험적으로 네가지 종류의 팁을 사용하였다. 두 번째 변수는 팁

조립시 팁 좌면과의 간섭을 배제하기 위한 도피홈의 위치 정보이다. 도피홈의 중점의 위치는 팁 좌면의 교차점으로부터 탭 부의 중점 방향으로 $d/4$ (d = 도피홈의 직경)만큼 이동하였는데 이는 절삭 가공시 칩이 들어갈 수 있는 공간을 최소화하기 위한 고려이다. 도피홈의 직경은 탭의 직경과 동일하게 선정하였다. 세 번째 변수는 탭 부의 위치정보로서 팁이 홀더의 팁 좌면에 체결되기 위한 Bolting point이다. 팁 결합력 강화를 위하여 팁의 중점으로부터 도피홈 방향으로 δ (약 0.2~0.3mm) 가량 편심량을 주어 선정하였다.



(a) Before assembly (b) After assembly

Fig. 3 Schematic design of tap point

위와 같이 팁 좌면 모델링을 위한 매개변수가 정해지면 날의 수(이하 Z)를 결정해준다. Z 가 정해지면 모델링 및 5축공구경로 생성 시 하나의 날에 대한 기하정보나 공구경로를 $Z/2\pi$ 씩 회전하여 복사생성한다.

3.2 헬릭스 각과 팁의 배열

팁의 형상과 볼팅 포인트 및 도피홈을 모델링한 후에는 헬릭스 각의 선정과 팁과 팁간의 피치를 고려하여 필요한 팁의 개수만큼을 홀더의 외주부에 배열하여야 한다. Fig. 4에 결정해줄 헬릭스 각과 팁간의 피치, 물림길이 및 여유면(Greeve surface)에 대한 개략도를 제시하였다.

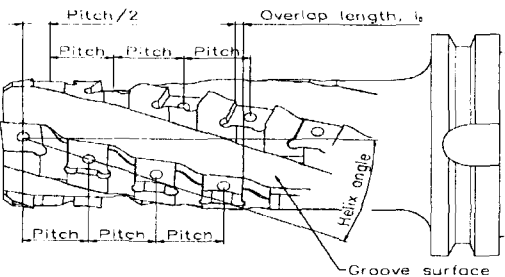


Fig. 4 Schematic of helix angle, pitch, overlap length and groove surface

헬릭스 각의 선정은 참고문헌⁽¹⁾에서 제시하였듯이 각이 커질수록 절삭날의 총길이가 길어짐에 따라 마찰력이 증가하여 비마찰에너지가 증가하는 경향을 보인다. 따라서 헬릭스 각은 참고문헌⁽¹⁾에서 제시한 30° 이내로 선정하는 것이 적절할 것이다. 헬릭스각이 주어졌을 때 리드(L)는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

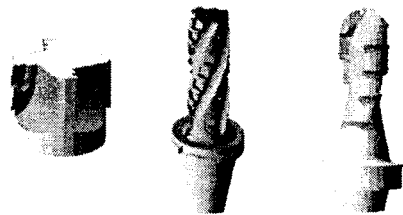
$$L = \tan(\pi/2 - \theta) \times \pi D \quad (1)$$

여기서, D 는 인서트커터의 직경이고 θ 는 헬릭스각이다. 또 하나의 중요한 변수는 팁과 팁간의 피치이다. 팁과 팁의 행간에 겹쳐지는 부분(이하 물림거리, l_o)이 0보다 작다면 미가공부가 발생할 것이다. 또한 물림거리가 짧을수록 하나의 팁이 받는 절삭저항은 적어질 수 있으나 조립하여야 할 팁의 수가 늘어나므로 과다비용이 발생하게 된다. 따라서 ' $l_o > 0$ ' 인 조건에서 적절한 물림거리를 선택하여야 하며, 물림거리에 따른 팁간의 피치가 주어지면 다음 열의 팁을 배열하기 위한 회전 각도는 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \frac{p}{L} \times 2\pi + \frac{Z}{2\pi} \quad (2)$$

여기서, ϕ 는 현재팁과 다음팁간의 회전각도이고, p 는 팁간의 피치, L 은 리드이며 Z 는 날의 수이다. 팁이 배열된 후에는 팁 장착면의 바깥부분을 연결하는 여유면(groove surface)을 모델링한다. 여유면은 반원 프로파일을 헬릭스 곡선에 로프트하여 모델링할 수 있다.

위와같은 과정을 페이스커터, 평엔드밀, 볼엔드밀에 대하여 각각 적용한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 모델링은 상용 소프트웨어인 CATIA의 파라메트릭 디자인 기법을 사용하였으며, Visual C++을 사용한 독립적인 곡면모델러의 개발을 향후 과제로 남겨 두었다.



(a) Face cutter (b) Flat endmill (c) Ball endmill

Fig. 5 Modeling of insert cutters

3. 복합5축가공 공구경로 생성

3.1 가공 프로세스

정밀하고 경제적인 가공을 위해서는 공구경로의 생성 시간 자체를 최대한 줄이고 결과적으로는 가공시간을 단축할 수 있는 효율적인 가공 프로세스를 선정하여야 한다. 본 연구에서는 먼저 소재의 선삭을 수행한 후 여유면을 황삭 및 정삭함으로써 팁 좌면 가공을 위한 공구의 진입경로 확보의 효과를 동시에 얻을 수 있으며 다음은 팁부와 팁 좌면의 가공 순으로 진행하였다. 본 연구에서는 CATIA의 Advanced Surface Machining Module을 사용하였으며 향후 과제로 Visual C++를 사용한 NC-Machining Module의 개발을 진행 중이다.

3.2 선삭 공구경로 생성

복합가공기의 가장 큰 장점은 소재의 1회 세팅(One - Chucking)으로 선삭과 밀링의 두가지 공정을 모두 마칠 수 있다는 것이다. Fig. 6은 선삭을 위한 공구 경로로서 정삭 경로만을 생성하여 복합가공기의 반복 사이클을 사용하여 황삭 및 정삭가공을 수행하였다.



Fig. 6 Tool path construction for turning

3.3 여유면의 공구경로 생성

여유면은 곡면으로 이루어져 있으며 Fig. 5의 (a)와 같이 직선 프로파일을 로프트한 룰드곡면(ruled surface)인 경우 룰드면에 접하는 면이 공구의 자세벡터가 되며 룰드면을 따라서 평엔드밀이 반경만큼 직경방향으로 오프셋(offset)하여 이동하도록 하였다. Fig. 5의 (b)와 같이 반원인 프로파일을 로프트한 곡면의 경우 공구의 진행경로는 헬릭스 곡선을 따라가고 공구벡터는 헬릭스 곡선의 첫점에서의 법선벡터와 끝점에서의 법선벡터를 보간(interpolation)하는 벡터의 라인을 취하였다. 여기서는 볼엔드밀을 사용하여 가공하므로 공구반경값만큼 공구벡터 방향으로 보상해주었다. 그러나 Fig. 4의 (c)는 헬릭스면이 복잡한 곡면과 곡면의 조합으로 이루어져 있으므로 한번에 공구경로를 생성할 수 없고 각

로프트곡면에 대한 공구경로를 생성한 후 조합하는 방법을 사용하였다. Fig. 5에 볼엔드밀 홀더의 여유면을 가공하기 위한 공구경로를 나타내었다.

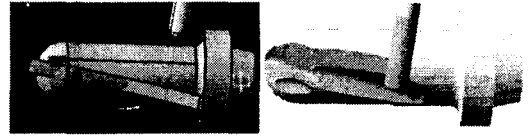


Fig. 7 Tool path construction of groove surface

3.4 팁부의 공구경로 생성

여유면의 가공은 정밀도를 요하지 않는데 비하여 팁부는 매우 정밀한 위치도와 형상공차를 필요로 한다. 먼저 Fig. 8과 같이 홈부와 팁부의 드릴가공을 수행한다. 드릴가공시의 공구벡터는 팁좌면에 대한 법선벡터이며 위치는 3.1절에서 언급한 바와 같다. 절입깊이가 다른 센터드릴과 드릴 및 태핑작업을 함께 수행하므로 드릴가공의 시작점으로부터 공구벡터를 따라 센터드릴, 드릴 및 태핑작업시의 절입 깊이를 각각 상이하게 더하여 주었다.

팁좌면은 팁이 결합될 때의 여유를 위하여 모델링 데이터 보다 윗측면으로 0.2mm 더 가공하였으며 Fig. 9와 같이 중삭 및 정삭 과정을 거침으로써 양호한 결과를 얻을 수 있었다.



Fig. 8 Tool path construction of bolting point and clearance groove



Fig. 9 Tool path construction of tip seated surface

4. Post-Processing

이상과 같이 생성한 공구경로는 가공 소재와 공구간의

Cutter Location Data(이하 CL-Data)로서 가공하고자 하는 5축가공기의 기계구조(Machine Configuration)에 맞는 NC-Data로 변환해 주어야 하며 5축가공에 있어서는 이와 같은 Post-Processing 작업의 정밀한 제어가 매우 까다롭고 중요한 요소이다. Fig. 10은 본 논문에서 제시한 Integrex-200 복합 5축 가공기의 공작물좌표계와 기계좌표계를 나타내고 있다. CL-Data로 생성된 공구경로는 Fig. 10의 공작물 좌표계인 x_c, y_c, z_c 직교 좌표계 상에서 구현된 것이므로 가공하고자하는 머신 좌표계인 x_m, y_m, z_m 로 변환해 주어야 하며 또한 Pivot length와 Tool length를 더한 Gage length 값인 δ 만큼을 보상에 주어야 한다.

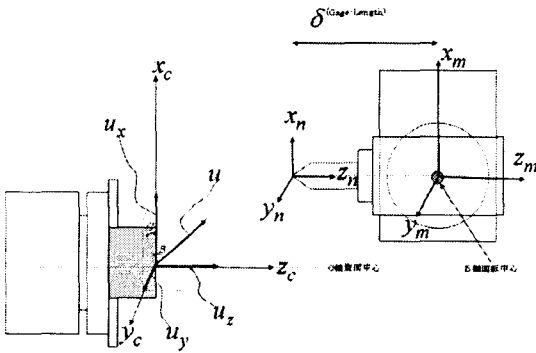


Fig. 10 Coordinate systems for 5-axis MCT

식(3)은 Integrex-200에서 실제 기계가공을 수행할 수 있는 NC-Data를 생성하기 위한 변환식으로서 u_x, u_y, u_z 는 임의 방향의 unit vector인 u 의 각 축 성분이고 x_n, y_n, z_n 은 NC-Data의 각 축 위치정보이며 B축은 Rotation 축을 C축은 Tilting 축을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 x_n &= x_c + \delta u_x \\
 y_n &= y_c + \delta u_y \\
 z_n &= z_c + \delta u_z \\
 u_z &= \sin B \\
 u_x &= \cos B \cos C \\
 u_y &= \cos B \sin C, \quad B = \sin^{-1} \frac{u_z}{u_x} \quad C = \tan^{-1} \left(\frac{u_y}{u_x} \right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

Post-Processing 작업 시 고려할 중요한 사항은 공구와 기계 각부와의 간섭 문제이다. 본 연구에서는 인서트커터를 가공함에 있어 가장 많은 Loss-Time의 원인이 되는 공구의 위치 결정 과정에 대한 개선 방안을 제시하며 Table 2는 이

와 같은 개선 방안의 Step을 보여준다. 즉 불필요한 5축 동시제어로 인한 가공 시간의 낭비를 원천적으로 방지하기 위한 것으로 실제 가공시 간섭의 배제 효과와 더불어 가공시간의 획기적인 감소를 얻을 수 있다.

Table 2 Step of positioning with tool

step 1	현재 위치에서 X축 +방향으로 급속이송
step 2	다음 위치의 B, C로 급속이송
step 3	다음 위치의 X, Y로 급속이송
step 4	다음 위치의 X축 -방향으로 초기점까지 급속이송
step 5	초기점에서 가공시점까지 절삭이송

위와 같은 Post-Processing 알고리즘을 적용하여 상용 소프트웨어인 Post-Works(NCL, USA)를 통하여 복합5축가공을 위한 NC-Data를 생성하였다. 또한 이상과 같이 생성한 공구경로의 검증에 위하여 상용 소프트웨어인 Vericut 5.3(CG Tech. U.S.A)을 사용하여 Fig. 11과 같이 모의 가공 시뮬레이션을 수행하였다.

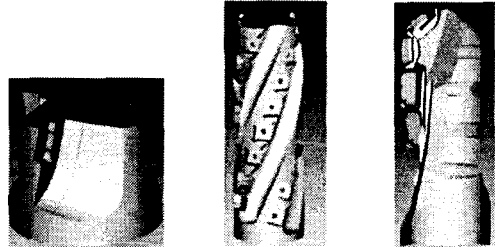


Fig. 11 Tool path verification with Vericut

피삭재(stock) 시뮬레이션과 머신(machine) 시뮬레이션을 통하여 공구경로를 검증한 후 Fig. 12와 같이 Integrex-200 복합5축가공기를 사용하여 CNC 절삭가공함으로써 Fig. 13과 같은 완제품을 제작하였다. 가공 결과 전용 인덱스 테이블을 사용하던 기존의 방식에 비해 대략 30% 정도씩의 가공시간 절감 효과를 나타내었다. 이는 복합가공을 통한 선삭공정의 통합과 수작업에서의 인덱스 회전과 같은 준비 시간의 감소 및 Post-Processing 과정에서 공구의 위치 이동 방법을 변경함으로써 얻어진 결과로 판단된다. 가공 정밀도는 Fig. 14와 같이 Tool presetter(Zoller, Germany)를 사용하여 측정하였다. 측정 결과, 요구 외주경 공차인 0.05mm 이내의 값을 나타냄으로써 본 연구에서 제안한 인서트형커터의 복합5축가공 공구경로가 정밀하였음을 입증하였다.

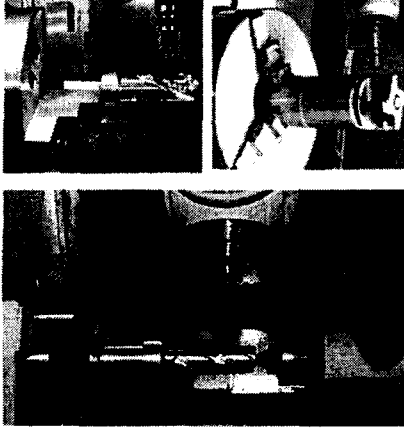


Fig. 12 Machining of insert cutters with Integrex-200

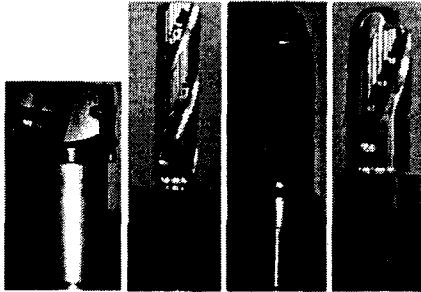


Fig. 13 Results of machining for insert cutters



Fig. 14 Run-out test for insert type cutter

4. 결론

본 연구를 통하여 인서트형 커터의 복합5축가공을 위한 모델링 및 공구경로 생성방법을 개발하였으며 그 내용은 아래와 같다.

첫째, CATIA를 사용하여 Face cutter, Flat endmill, Ball endmill 등의 인서트커터를 모델링하였으며 자동모델링을 위하여 인서트커터 각 부를 매개변수화하였고 이는 향후 개발할 인서트커터 모델러의 기본 자료로 활용할 수 있다.

둘째, 정밀하고 신속한 복합5축가공을 위한 공구경로 생성 프로세스를 표준화하였다.

셋째, 공구의 위치결정시 간섭을 배제하면서 가공시간을 감소할 수 있는 Post-Processing 방법을 개발하였다.

이상과 같은 연구 결과 가공시간의 측면에서는 약 30% 가량 단축되었으며, 정밀도 또한 요구 치수 이내에 들었다. 차후에 개발할 패키지 프로그램에서는 본 과제를 통하여 얻은 모델링 기법 및 공구경로 생성 방법을 기반으로 설계변수 및 가공조건을 입력데이터로 하여 자동모델링 및 자동공구경로 생성을 실현하고자 하며 이를 위하여 다양한 팁형상에 대한 표준화 작업 및 가공경로의 자동화 기법 등에 대한 보다 해석적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 결론적으로 본 연구를 통하여 다양한 종류의 인서트커터에 대한 통합 CAD/CAM 패키지 개발을 위한 기본자료 구축의 성과를 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 과학기술부, 한국과학연구재단 지정 2003년도 창원대학교 공작기계기술연구소의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- (1) 이영문, 장승일, 서민교, "하향엔드밀링시 헬릭스각에 따른 절삭특성변화," 한국공작기계학회지, 추계학술대회 논문집, pp. 77-82, 2003.
- (2) Choi, B. K, Surface Modeling for CAD/CAM, 1991.
- (3) Ibrahim Zeid, CAD/CAM theory and practice, 1994.
- (4) Hwang, J. D., Jung, J. Y., Jung, Y. G, "Modeling of Functional Surface using Modified B-spline", *J. of KSPE*, Vol. 20, No. 10, pp. 156~163, 2003.