

## Z-Map모델을 이용한 3차원 CNC가공계획 및 절삭시뮬레이션에 관한 연구

### A Study on the 3-D CNC Cutting Planning and Simulation by Z-Map Model

송 수 용\*, 김 석 일\*\*

\* 한국항공대학교 기계설계학과 대학원

\*\* 한국항공대학교 기계설계학과

#### Abstract

Recently, the Z-Map model has been used widely to represent the three dimensional geometric shape and to achieve the cross-section and point evaluation of the shape. In this paper, the CNC cutting planning and simulation modules for product with three dimensional geometric shape are realized based on the Z-Map model. The realized system has the various capabilities related to the automatic generation of tool path for the rough and finish cutting processes, the automatic elimination of overcut, the automatic generation of CNC program for a machining center and the cutting simulation. Especially, the overcut-free tool path is obtained by using the CL Z-Map models which are composed of the offset surfaces of the geometric shape of product.

주요기술용어 : CAD/CAM(컴퓨터지원 설계/가공), Z-Map Model(Z-Map모델), CL Z-Map Model (Cutter Location Z-Map모델), CNC(컴퓨터 수치제어), Cutting Planning(가공계획), Overcut(과대진삭)

#### 1. 서론

수요자들의 다양한 요구에 기인한 제품수명의 단축경향은 제품의 설계분야와 가공분야에 컴퓨터응용기술을 적극적으로 활용하게 된 계기를 만들어 주었다. 이에 따라 그 동안 수많은 CAD/CAM시스템들이 개발되어 왔고, 그와 더불어 3차원 제품의 형상을 효과적으로 표현하기 위한 방법으로서 솔리드모델러(surface modeler) 및 솔리드모델러(solid modeler)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(1-6)</sup>.

솔리드모델에 기반을 두고 지금까지 개발된 CAD/CAM시스템들은 B-Rep모델(boundary representation model), CSG 모델(constructive solid geometry model), 분해모델(decomposition model) 등과 같은 형상모델러들을 사용하고 있다. 그리고 최근에는 자료구조가 단순하면서, 가공된 제품의 형상을 실제 가공결과와 비슷하게 표현할 수 있는 분해모델의 한 형태인 Z-Map모델이 기존의 CAD/CAM시스템에 의해서 생성된 CNC프로그램을 검증하거나 가공중의 절삭력을 예측하기 위한 연구에 많이 사용되고 있다<sup>(7-9)</sup>.

본 연구에서는 Z-Map모델을 이용한 3차원 제품의 형상설계에서 미시닝센터에 의한 CNC가공까지를 일관적으로 처리할 수 있는 CAD/CAM시스템의 CNC가공계획모듈과 절삭

시뮬레이션모듈을 개발하였다. CNC가공계획모듈은 시스템 사용자가 입력한 제품과 소재의 형상정보, 밀링공구의 세원, 그리고 절삭조건을 토대로 획삭가공과 정삭가공에 대한 공구경로와 CNC프로그램을 생성하는 기능을 가지고 있다. 공구경로는 밀링공구의 세원과 절삭조건을 토대로 제품형상을 움셋(offset)시키 생성한 CL Z-Map모델을 이용해서 도출하였다. 특히 제품의 내부 하용공차와 외부 하용공차에 의해서 생성되는 내부 CL Z-Map모델과 외부 CL Z-Map모델 사이의 공간을 직선보간하는 개념을 사용하였기 때문에 가공정밀도의 유지는 물론 과대진삭의 방지가 자동적으로 이루어진다. 또한 절삭시뮬레이션모듈은 CNC가공계획모듈에서 생성된 CNC프로그램에 의해서 제품이 실제 가공되는 형상을 컴퓨터화면상에 묘사하는 기능을 가지고 있다.

#### 2. CNC가공계획 및 절삭시뮬레이션

Z-Map모델은 Fig.1에서와 같이 3차원 입체형상을 XY평면상에서 일정한 크기의 각자들로 분할하고, 그 각자들에 대한 높이인 Z좌표값들을 저장하는 형태의 자료구조를 가지고 있다. 따라서 Z-Map의 자료구조는 기본적으로 2차원 배열로 주어진다. 이러한 Z-Map모델은 원하는 정밀도를 얻기 위해

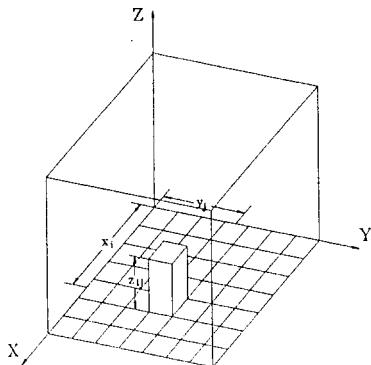
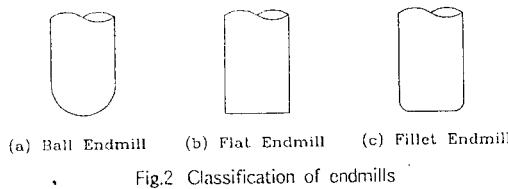


Fig.1 Concept of Z-Map model



(a) Ball Endmill (b) Flat Endmill (c) Fillet Endmill

Fig.2 Classification of endmills

서는 많은 기억용량과 계산시간을 필요로 하지만, 자료구조가 단순하면서 실제 입체형상을 매우 효과적으로 표현할 수 있기 때문에 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 제품, 소재 및 절삭공구의 형상정보들로부터 황삭공구경로와 정삭공구경로를 도출하기 위해서 Z-Map모델을 사용하였다.

3차원 곡면가공을 수행하는 미사닝센터에서는 Fig.2에 나타낸 볼엔드밀(ball endmill), 플랫엔드밀(flat endmill), 그리고 필릿엔드밀(fillet endmill)이 많이 사용된다<sup>[3]</sup>. 일반적으로 볼엔드밀은 곡면을 정삭가공하는 경우, 필릿엔드밀은 황삭가공하는 경우, 그리고 플랫엔드밀은 홈을 가공하는 경우에 많이 사용한다. 따라서 본 연구에서는 시스템 사용자가 필요에 따라서 이러한 3가지 형태의 공구를 임의로 선택할 수 있도록 하였다.

CNC밀링가공에서의 공구경로는 절삭공구의 바닥 끝점의 좌표값인 CL정보에 의해서 표현된다. 일반적으로 CL정보는 곡면상의 공구접촉점, 공구접촉점에서의 곡면의 법선벡터, 그리고 절삭공구의 기하학적인 제원으로부터 결정할 수 있지만, Z-Map모델을 이용하는 경우에는 공구접촉점에서의 곡면의 법선벡터를 정확하게 구할 수 없다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 Z-Map모델의 특징을 이용해서 다음과 같이 과대진삭이 배제된 CL Z-Map모델을 생성하는 알고리즘과 그 모델을 이용해서 공구경로를 결정하는 알고리즘을 제

안하였다.

#### <CL Z-Map모델의 생성알고리즘>

- ① Fig.3에 제시한 것과 같이 격자  $(i, j)$ 에 대한 곡면상의 점  $r_s(i, j)$ 에 절삭공구의 바닥 끝점  $r_T(i, j)$ 을 위치시킨다.
- ② 절삭공구의 형상을 XY평면에 투영시켰을 때 일어지는 투영영역  $A$  내의 격자  $(k, l)$ 에 대한 곡면상의 점  $r_s(k, l)$ 과 절삭공구의 바닥면상의 점  $r_T(k, l)$ 의 중첩높이  $\Delta Z(l, k)$ 를 식 (1)과 같이 계산한다.

$$\Delta Z(l, k) = Z_s(l, k) - Z_T(l, k) \quad (1)$$

여기서  $Z_s(l, k)$ 와  $Z_T(l, k)$ 는 각각  $r_s(k, l)$ 과  $r_T(k, l)$ 의 Z좌표값을 의미한다.

- ③ 투영영역  $A$  내의 격자들에 대한 최대 중첩높이  $\Delta Z_{\max}$ 를 구한다.
- ④ 격자  $(i, j)$ 에 대한 CL Z-Map모델의 높이  $Z_{CL}(i, j)$ 를 식 (2)와 같이 결정한다.

$$Z_{CL}(i, j) = Z_s(i, j) + \Delta Z_{\max} \quad (2)$$

- ⑤ 과대진삭이 배제된 CL Z-Map모델을 구하기 위하여 곡면상의 모든 점들에 대해서 ①부터 ④까지의 과정을 반복 수행한다.

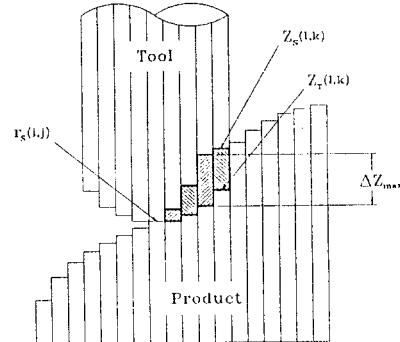


Fig.3 Determination of CL Z-Map Model

#### <CL Z-Map모델에 의한 공구경로 생성알고리즘>

- ① CL Z-Map모델 생성알고리즘을 토대로 제품의 내부 허용공차와 외부 허용공차에 대응되는 2개의 CL Z-Map모델을 구성한다.
- ② 외부 허용공차에 대응되는 외부 CL Z-Map모델의 경계선상에 공구를 위치시킨다.
- ③ 외부 허용공차와 내부 허용공차에 대응되는 2개의 CL

Z-Map모델간의 공간을 벗어나지 않으면서 동시에 현재의 공구위치와 공구진행방향으로 놓여 있는 상대방 CL Z-Map 모델상의 점을 연결하는 가장 긴 선분을 구한다.

④ 만약 선분이 상대방 CL Z-Map모델상의 점과 접하는 경우에는 현재의 공구위치와 그 점을 연결하는 직선을 구하고, 그 직선과 현재 공구가 위치한 CL Z-Map모델간의 교점을 계산하여 선분을 계산한다.

⑤ CL Z-Map모델의 반대편 경계선에 도달할 때까지 ③과 ④의 계산과정을 반복 수행한다. 이러한 개념으로부터 얻어지는 공구경로의 예는 Fig.4에서 볼 수 있다.

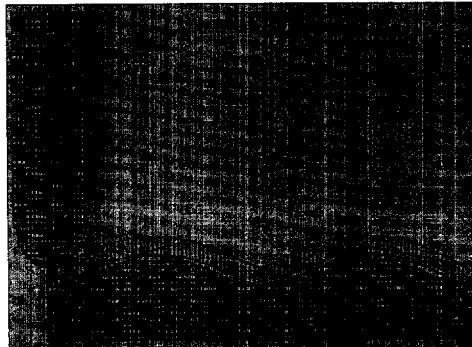


Fig.4 Determination of overcut-free tool path

결과적으로 본 연구에서 제안한 공구경로 생성알고리즘은 CL Z-Map모델을 이용해서 용이하게 과대절삭이 배제된 공구경로를 생성하고 있다. 또한 그 공구경로는 모두 2차원 평면상에 놓여지기 때문에 머시닝센터뿐 아니라 자유도가 2½ 축인 CNC밀링머신에서도 3차원 곡면의 가공이 가능해진다.

공구경로의 연결방식에는 단방향(one way) 공구경로방식과 양방향(zigzag) 공구경로방식이 있다<sup>(3)</sup>. 공구가 한쪽 방향으로 진행할 때만 절삭이 일어나는 단방향 공구경로방식은 가공표면의 상태가 우수하지만, 가공시간이 길어지는 단점이 있다. 반면에 양방향 공구경로방식은 가공시간이 짧지만, 공구의 진행방향에 따라서 가공표면의 상태가 달라지는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 시스템 사용자가 필요에 따라서 이러한 2가지 형태의 공구경로방식을 임의로 선택할 수 있도록 하였다.

공구경로가 결정되면 모든 가공정보들은 궁극적으로 CNC컨트롤러가 이해할 수 있는 CNC프로그램 형태로 변환되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 주축회전수, 이송속도, 절삭깊이 등과 같은 절삭조건과 CNC컨트롤러의 특성을 고려해

서 공구경로부터 머시닝센터용 CNC프로그램을 생성하였다.

본 연구에서의 절삭시뮬레이션은 CNC가공계획모듈에서 생성된 CNC프로그램에 의해서 제품이 실제 가공되는 형상을 컴퓨터화면상에 묘사하는 것을 의미한다. Z-Map모델을 절삭시뮬레이션에 이용하는 경우에는 공구에 의해서 절삭되는 공간과 소재곡면의 Z좌표값만을 비교함으로써 쉽게 처리될 수 있다. 본 연구에서 사용한 절삭시뮬레이션 알고리즘은 다음과 같다.

#### <Z-Map모델을 이용한 절삭시뮬레이션 알고리즘>

① CNC프로그램을 이용해서 공구에 의해서 절삭되는 공간을 계산한다.

② 공구의 절삭공간과 소재간의 중첩공간을 계산한다. 절삭공간을 XY평면에 투영시켰을 때 얻어지는 투영영역 **B**내의 격자  $(i,j)$ 에 대한 소재상의 점  $r_M(i,j)$ 와 절삭공간의 바닥면상의 점  $r_C(i,j)$ 의 중첩높이  $\Delta Z(i,j)$ 는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta Z(i,j) = Z_M(i,j) - Z_C(i,j) \quad (3)$$

여기서  $Z_M(i,j)$ 와  $Z_C(i,j)$ 는 각각  $r_M(i,j)$ 와  $r_C(i,j)$ 의 Z좌표값을 의미한다.

③ 식 (3)에 의해서 얻어지는 중첩높이  $\Delta Z(i,j)$ 의 값이 양수인 경우에만 격자  $(i,j)$ 에 대한 소재상의 점  $r_M(i,j)$ 의 Z좌표값  $Z_M(i,j)$ 를  $Z_C(i,j)$ 로 대체한다.

④ 투영영역 **B**내의 격자  $(i,j)$ 에 대해서 ③과 ④의 과정을 적용한다.

⑤ CNC프로그램에 의해서 가공될 제품의 최종형상을 얻기 위해서 CNC프로그램이 종료될 때까지 ①부터 ④까지의 과정을 반복 수행한다.

### 3. 시스템의 적용실례 및 고찰

본 연구에서는 Z-Map모델을 이용한 3차원 제품의 형상설계에서 머시닝센터에 의한 CNC가공까지를 일괄적으로 처리할 수 있는 CAD/CAM시스템의 CNC가공계획모듈과 절삭시뮬레이션모듈을 구축하였다.

CNC가공계획모듈을 통해서 공구경로와 CNC프로그램을 생성하기 위해서는 제품의 형상정보 외에도 절삭공구의 반경, 절삭공구의 월릿반경, 주축회전수, 이송속도, 절삭깊이, 가공여유, 내부 허용공차, 외부 허용공차, 공구경로간격, 절삭방법 등에 대한 정보들을 입력해야 한다. 절삭조건의 입력례는 Fig.5에서 볼 수 있다. 또한 직육면체형 소재인 경우에는 가로길이, 세로길이, 높이, 그리고 중심점의 좌표값을 입력하

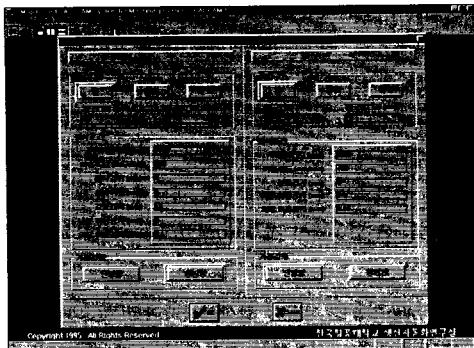


Fig.5 Determination of cutting conditions



Fig.6 CL Z-Map model for rough cutting



Fig.7 CL Z-Map model for finish cutting

고, 예비성형된 주물소재인 경우에는 제품형상에 대한 읍셋  
값만을 입력하도록 시스템을 구성하였다.

Fig.6과 7은 예비성형된 주물소재에 대해서 본 연구에서  
제안한 CL Z-Map모델의 생성알고리즘과 Fig.5에 제시된 절  
삭조건들을 토대로 생성한 황삭가공용 CL Z-Map모델과 정

삭가공용 CL Z-Map모델을 보여주고 있다. CL Z-Map모델  
의 생성결과로부터 황삭가공의 경우에는 4차례의 가공이 필  
요하고, 정삭가공의 경우에는 1차례의 가공이 필요함을 알  
수 있다.

황삭가공용 CL Z-Map모델과 정삭가공용 CL Z-Map모델

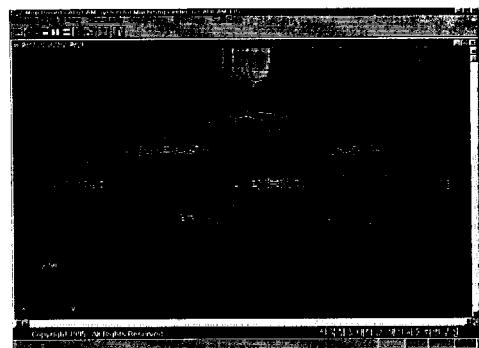


Fig.8 Tool path for rough cutting

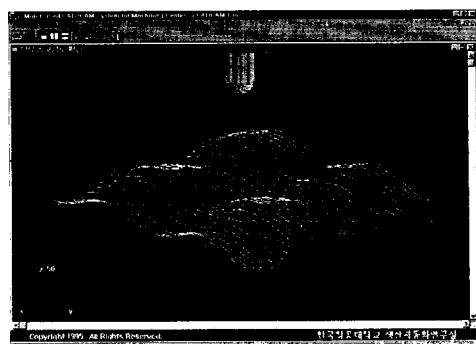


Fig.9 Tool path for finish cutting

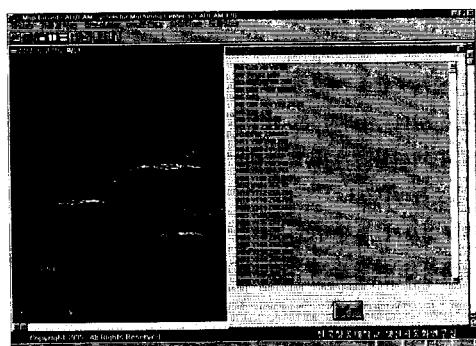


Fig.10 Verification of CNC program

이 생성되면, 본 연구에서 제안한 공구경로 생성알고리즘에 의해서 과대절삭이 배제된 공구경로를 생성할 수 있다. Fig.8과 9는 Fig.5에 제시된 절삭조건들을 토대로 생성한 황삭공구경로와 정삭공구경로를 보여주고 있다. 황삭공구경로와 정삭공구경로는 각각 양방향 공구경로방식과 단방향 공구경로 방식을 이용해서 생성하였다. 그리고 컴퓨터화면상에서 볼 수 있는 검은색(적색)의 공구경로궤적은 급이송구간을 나타내며, 흰색(황색)의 공구경로궤적은 절삭이송구간을 나타낸다. 또한 Fig.10은 Fig.5에 제시한 정삭조건들과 Fig.9에 제시한 정삭공구경로를 이용해서 생성한 정삭가공을 위한 머시닝 센터용 CNC프로그램을 보여주고 있다.

Fig.11과 12는 CNC가공계획모듈에서 생성된 CNC프로그램과 앞에서 설명한 절삭시뮬레이션 알고리즘을 이용해서 황삭가공이 완료된 상태의 제품형상과 정삭가공이 완료된 상태의 제품형상을 각각 보여주고 있다. 황삭가공이 완료된 상태의 제품에는 비교적 큰 카스(cusp)이 남아 있지만, 정삭가공이 완료된 상태의 제품에는 거의 카스가 남아 있지 않다는

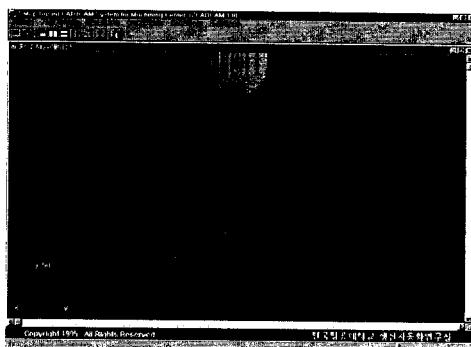


Fig.11 Rough cutting simulation

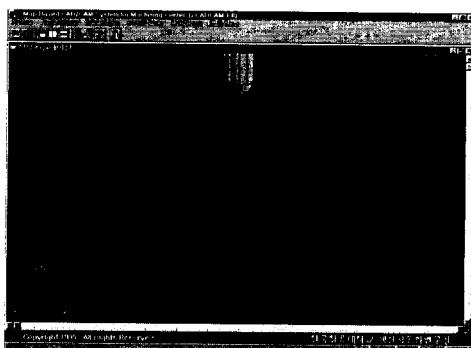


Fig.12 Finish cutting simulation

것을 알 수 있다. 이와 같이 실제로 머시닝센터에서 제품을 가공하기 전에 컴퓨터화면상에서 그 가공결과를 미리 평가할 수 있는 절삭시뮬레이션기능은 절삭조건을 검증하는 데 매우 효과적인 수단을 제공한다.

이상과 같은 시스템 적용례에서 볼 수 있듯이 Z-Map모델을 이용한 CNC가공계획모듈과 절삭시뮬레이션모듈은 황삭가공과 정삭가공에 대한 공구경로, CNC프로그램, 그리고 제품의 가공상태를 용이하게 생성 및 확인할 수 있도록 구성되어 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 Z-Map모델을 이용한 머시닝센터용 CAD/CAM시스템을 구축하기 위한 토대를 마련하기 위해서 CNC가공계획모듈과 절삭시뮬레이션모듈을 개발하였다. 특히 시스템 개발과정을 통해서 얻은 결과들을 정리하면, 다음과 같다.

- ① 밀링공구와 제품형상의 Z-Map모델을 이용해서 과대절삭이 배제된 CL Z-Map모델을 생성하는 알고리즘을 제안하였다.
- ② 제품의 내부 허용공차와 외부 허용공차에 대응되는 내부 CL Z-Map모델과 외부 CL Z-Map모델을 이용해서 공구경로를 효율적으로 생성하는 알고리즘을 제안하였다.
- ③ 공구경로가 허용공차에 대응되는 CL Z-Map모델로부터 언어자기 때문에 원하는 가공정밀도가 유지되며, 과대 절삭의 방지가 자동적으로 이루어진다.
- ④ ZX평면상이나 YZ평면상에서 공구경로를 얻을 수 있기 때문에 자유도가 2½축인 CNC밀링머신에서도 3차원 제품의 가공이 가능하다.
- ⑤ 절삭시뮬레이션을 통해서 머시닝센터에 의한 제품의 가공결과를 미리 평가할 수 있기 때문에 절삭조건의 검증이 가능하다.

#### 참고문헌

1. CIM을 위한 차세대 솔리드모델러 (이론 및 응용), KAIST 산학협동공개강좌, (1990)
2. M. Mäntylä : An Introduction to Solid Modeling, (1987)
3. 최병규 : CAM시스템과 CNC절삭가공, 청문각, (1989)
4. 이건우 : 컴퓨터 그래픽과 CAD, 영지문화사, (1994)
5. 양희구, 김석일 : B-Rep 솔리드모델을 이용한 머시닝센터용 CAD/CAM시스템 개발 (I) - 반모서리 자료구조의

- B-Rep 솔리드모델러에 관한 연구, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, (1995)
6. 양희구, 김석일 : B-Rep 솔리드모델을 이용한 머시닝센터용 CAD/CAM시스템 개발 (II) - 솔리드모델을 이용한 3차원 CNC가공계획에 관한 연구, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, (1995)
7. K. Kato and M. Oshima : Surface Machining Using Tool Projection and Dividing Method and Parallel Processing Technique, J. of JSPE, Vol.56, No.4, 1990, pp.67-72
8. S. Mikami and Y. Kakazu : A Hardware Engine for NC Tool Paths Generation/Simulation - a CSG Oriented Approach, Proceedings of the 1st International Conference on New Manufacturing Technology, Chiba Japan, 1990, pp.141-146
9. 박세형 : 불엔드밀을 이용한 3차원 CNC가공의 시뮬레이션, KAIST 박사학위논문, 1992