

자유곡면으로 이루어진 3차원 곡면의 고속 가공 시스템 개발

이희관*, 김준형(전북대원), 조시완(금호타이어), 양균의(전북대)
Hi-K., Lee, J.H., Kim(Graduate School, Chonbuk Univ),
S.W., Cho(Kumho Tire Co.), G.E., Yang(Chonbuk Univ.)

ABSTRACT

This paper proposes methods for pencil machining and uncut area machining. Based on Z-map represented by triangular facets, self-intersection-free offset surface is generated with K-offset method in case of ball mill and flat mill.

Pencil machining can eliminate overload area before main machining, rough, semi-finish and finish cutting, preventing fluctuations of cutting forces in concave regions from causing bad machining condition.

Low productivity is caused by uncut area which has excessive or irregular finishing allowance. Uncut area machining has the finishing allowance keep uniformly on part surface. This paper deals with two types of uncut area, machining detection of excessive area and user-defined area.

Keywords : Pencil Machining, Uncut Area Machining.

1 서론

근래 산업 현장의 가장 큰 과제는 시간 경쟁이고 금형 가공에서는 경쟁력을 갖추기 위해 고속도 가공기 제작과 고속기 가공의 필수 기술인 pencil 가공 경로와 잔삭 가공 경로의 생성에 주목하게 되었다. 이러한 가공 기술 개발은 최근의 CAD/CAM 시스템에 반영이 되고 있다.

Lee^[1]은 삼각형 다면체 모델을 이용하여 공구 간섭이 배제된 공구 경로를 얻고 경로상에서 꺾임이 발생하는 부분을 찾아 연결하여 pencil 가공 경로를 생성하였다.

Saito^[2]은 Z-map 모델을 이용하여 공구 간섭이 제거된 offset Z-map에서 Laplacian 근사 곡률으로 오목 부위를 탐색하고 정삭 후 주어진 표면 정밀도보다 높은 커스프를 남기는 부분을 연결하여 잔삭 가공 경로를 생성하는 연구를 하였다.

본 연구는 이들의 논문에서 다루지 않고 있는 정량적 내용을 포함하여 복잡한 형상가공에 있어서 연마 및 사상가공을 가능한한 배제할 수 있도록 미절삭부위를 탐색하여 주로 pencil 가공과 잔삭가공을 고속으로 수행할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

2 Z-map 모델

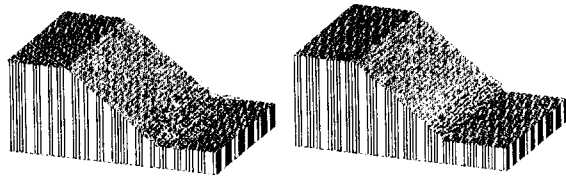
여기서 이용한 모델링 방식은 Z-map이고 K-offset

방식으로 공구 간섭과 곡면내 교차 곡선을 제거한 offset 곡면을 구한다. 정확한 offset 곡면을 구하기 위해 Z-map 모델을 삼각형 다면체로 변환하였다.

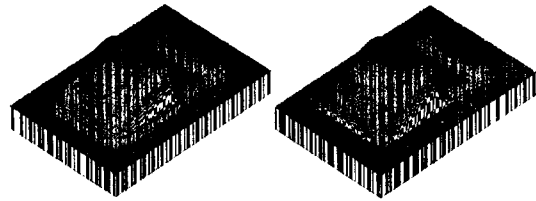
3 펜슬가공

3.1 펜슬가공

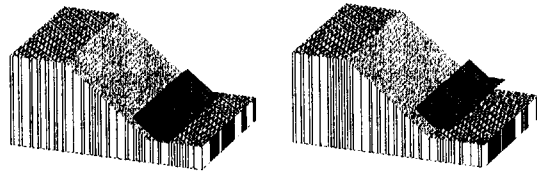
복잡한 형상의 금형은 한 번의 가공으로 최종결과를 얻을 수 없다. 예를 들어 fig.1과 같은 곡면을 반경 20mm인 공구로 황삭가공한다고 하면 반경 10mm, 5mm, 2mm인 공구로 차례대로 가공을 수행해간다. 이렇게 다양한 반경의 공구를 사용하여 단계별로 가공을 하다보면, 예를 들어 20mm공구로 황삭가공을 하고, 반경 10mm인 공구로 중삭 또는 정삭을 하는 경우, 곡률 반경이 공구 반경보다 큰 부분은 이미 반경 20mm인 공구로 지정된 여유량만을 남기고 가공되고 곡면의 곡률반경이 공구의 반경보다 작은 부분은 가공이 되지 않은 상태로 남아 있게 된다. 만약 반경 10mm인 공구로 다음 단계의 절삭을 행할 때 이러한 부분을 평평하거나 볼록한 부분에 맞추어 설정된 절삭속도로 가공할 경우 절삭 부하의 변화가 다른 부분에 비해 심하게 될 것이다. 그렇다고 오목한 부분을 기준으로 절삭속도를 설정한다면 절삭 시간이 너무 많이 소비되어 생산성이 저하될 것이다. 펜슬가공은 이러한 부분을 단계별 주절삭에 들어가기 전에 먼저 그림과 같은 방향으로 relief가공을 해



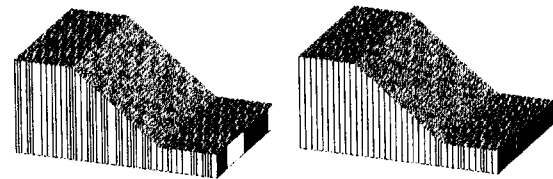
(a) 불밀의 잔삭가공후 잔삭량 (b) 평밀의 잔삭가공후 잔삭량
Fig.12 기존 연구의 잔삭가공후 형상



(a)불밀의 잔삭가공후 형상 (b)평밀의 잔삭가공후 형상
Fig.16 불밀과 평밀에 대한 잔삭가공 모의가공 형상



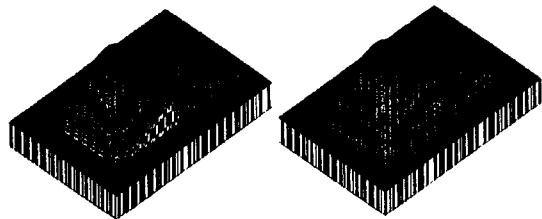
(a) 평밀의 가공 경로 (b) 불밀의 가공 경로
Fig.13 본 연구의 미절사부위의 절삭을 위한 가공경로



(a) 평밀 잔삭 가공 후 (b) 불밀 잔삭 가공 후
Fig.14 본 연구의 잔삭가공후 형상

Fig.15.(a)는 임의로 디자인된 곡면 형태로 크기는 $120\text{mm} \times 75\text{mm} \times 25\text{mm}$ 이며 격자간격은 0.5mm 이다. Fig.15.(b)는 이 곡면을 $\phi 20\text{mm}$ 로 정삭가공한 형상을 보이고 있다.

Fig.16(a)(b)는 각각 본 연구에서 제안된 방법으로 정삭가공후 미절사부위를 탐색하여 불밀 $\phi 10\text{mm}$ 과 평밀 $\phi 10\text{mm}$ 로 모의 잔삭가공한 형상을 보여주고 있다.



(a) 마우스 형상 (b) $\phi 10\text{mm}$ 정삭후 형상
Fig.15 자유곡면 형상과 $\phi 10\text{mm}$ 정삭후 형상

4.3 잔삭 부분에 대한 사용자 지정

미절삭 부분은 주어진 정밀도와 표면 정밀도를 검사하여 찾을 수도 있지만 사용자가 그 영역을 지정할 수도 있다. 부품을 조립해서 완제품을 만들 경우 부품의 조립 부분은 양호한 조립과 자동화를 위해서

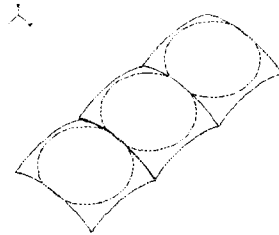


Fig.17 잔삭 가공 영역 지정

맞춤면은 높은 정밀도를 가져야 한다. 잔삭 가공을 위한 사용자의 영역 설정은 Fig.17과 같이 잔삭 영역을 나타내는 곡선을 가공 형상에 투영하는 방식을 이용한다.

위에서 지정한 영역에 대해서만 조립과 자동화를 위해서 주어진 표면 정밀도를 만족하는 가공 경로의 간격을 계산하여 가공 경로를 생성한다. Fig.18은 사용자가 지정한 영역에 대한 잔삭 가공을 하여 생산한 모니터 금형의 상판을 보여 준다. 이 금형의 가장 자리는 CRT와의 조립을 위해서 $30\mu\text{m}$ 이하의 표면 정밀도를 요구하고 내부는 제품과는 무관한 부분이라 신속하게 가공하는 방식으로 제작되었다.

분은 미절삭부위가 된다. 미절삭부위로 탐색된 격자점 $[i,j]$ 들은 Linked list에 저장되고 최대 미절삭부위 값을 저장하여 잔삭부위의 공구 선정을 위해 사용한다. 공구 반경은 최대 미절삭 높이를 근거로 적절히 선정한다.

선정된 공구에 대해 offset Z-map을 구하고 linked list에 저장된 격자점 $[i,j]$ 을 호출한다. 불밀인 경우는 offset 모델의 격자점 $(Xs[i], Ys[j], Zs[i,j])$ 과 정삭가공 후 형상 $(Xf[i], Yf[j], Zf[i,j])$ 과 거리 검사를 하여 공구 반경안에 들어오는 격자점은 잔삭가공을 위해 사용된다. 공구 반경안에 들어온다는 것은 잔삭가공이 필요하다는 것을 의미한다. 평밀의 경우는 offset 모델의 격자점 $(Xs[i], Ys[j], Zs[i,j])$ 에서의 $Zs[i,j]$ 와 공구 반경안에 있는 정삭가공 후 형상 $(Xf[i], Yf[j], Zf[i,j])$ 의 $Zf[i,j]$ 과 값을 비교하여 Zf 가 Zs 보다 큰 격자점은 평밀 잔삭가공을 위해 저장된다.

4.2.2 탐색한 미절삭 부분에 대한 가공 영역 설정
위에서 탐색한 미절삭 부분은 잔삭량과 커스프의 높이가 주어진 정밀도를 만족하지 못하는 점들의 집합으로 얻어진다. 이 점들이 이루는 영역의 설정은 Graham 알고리즘을 이용한다. 알고리즘의 거동은 아래의 그림과 같다.

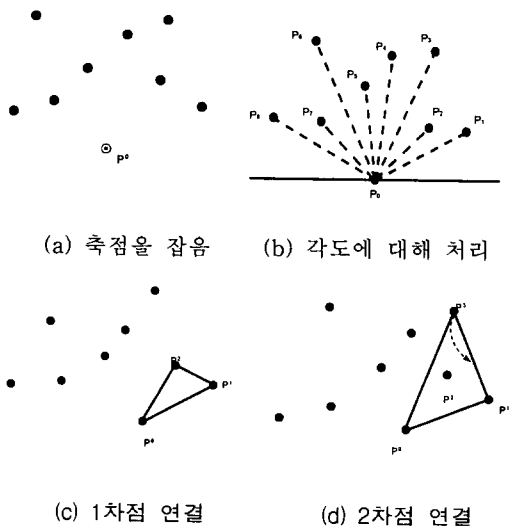


그림 9. Graham 알고리즘

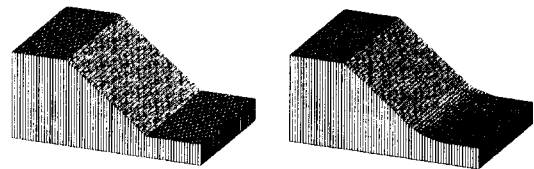
위의 Graham 알고리즘으로 구해진 미절삭 영역에 맞는 가공 경로를 생성한다. 가공 시간 단축을 위해 공구의 절삭 방향과 급속 이동이 적은 가공 경로 생

성을 위해 가공 영역의 가장 긴 방향을 설정한다.
4.2.3 실행예

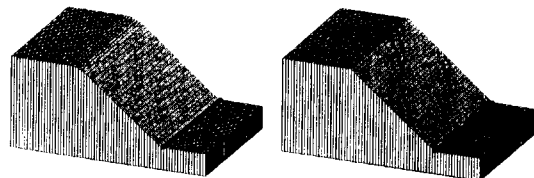
Fig.10.(a)는 경사면을 가지는 합성곡면으로 크기는 $50(\text{mm}) \times 50(\text{mm}) \times 30(\text{mm})$ 이며 Z-map 모델의 격자 간격은 1mm로 하였다. Fig.10.(b)는 경사면 형상을 $\phi 40\text{mm}$ 볼엔드밀로 정삭가공한 형상을 보여주고 있다. Fig.11, 12은 각각 기존^[2]의 연구에서 제시된 방법으로 정삭후 미절삭부위를 탐색하여 $\phi 10\text{mm}$ 인 평엔드밀과 볼엔드밀을 사용할 경우 미절삭부위의 잔삭가공경로와 잔삭가공 후 결과를 보여주고 있다. 그러나 기존 연구^[2]에서는, 특히 평밀의 경우인 때가상 반지름을 실제 반지름에 더하여 offset surface를 구하기 때문에 잔삭가공후에도 잔삭량이 경사면 형상의 경우 불밀인 경우 0.7mm, 평밀인 경우 0.5mm 이상이 남는 것을 모의 가공을 통해 알 수 있었다.

Fig.13, 14은 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 생성된 잔삭가공경로와 잔삭가공 후 형상을 보여주고 있다. 잔삭가공 후 잔삭량은 평밀인 경우 거의 영(zero)에 가까운 결과가 나왔으며 불밀인 경우 0.1mm가 남는 것을 모의가공을 통해 얻을 수 있었다.

이러한 결과를 볼 때 기존의 방법에 비해 본 연구에서 제안한 방법이 잔삭가공 후 잔삭량이 훨씬 적게 남는 것은 확인할 수 있었다.



(a) 경사면 Z-map모델 (b) $\phi 40\text{mm}$ 정삭후 형상
Fig.10 Z-map모델과 정삭가공후 형상



(a)볼밀의 잔삭가공경로 (b)평밀의 잔삭가공경로
Fig.11 기존의 잔삭가공경로

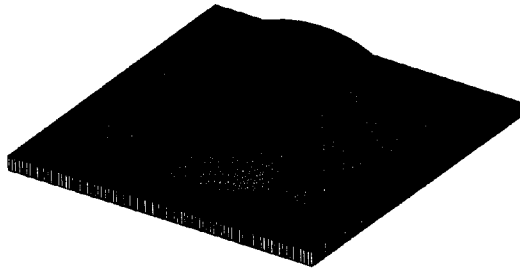


Fig.4 장난감 자동차 형상의 R10 블렌딩 곡면

Fig.5는 장난감 자동차 형상의 R10의 offset surface를 보여주고 있다. Fig.6은 Fig.3, 4, 5의 데이터를 이용해 본 연구에서 제안한 방법을 이용해 찾아진 펜슬가공후보점들 보여주고 있으며, Fig.7은 R10mm offset surface에서 찾아진 후보점들 중에서 R10mm 블렌딩 곡면과 원래의 곡면과의 높이차가 3/4R높이 값을 포함하는 펜슬가공이 필요한 위치점들을 보여주고 있다.

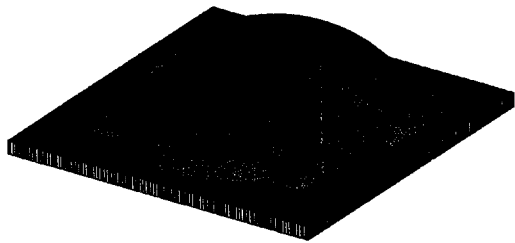


Fig.5 장난감 자동차 형상의 R10 offset surface

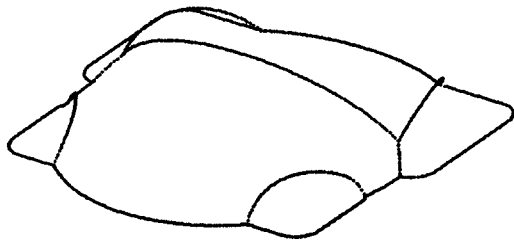


Fig.6 펜슬가공 후보점들

Fig.8은 조건을 만족하는 펜슬가공점들을 이용해 펜슬가공경로를 만들고 $\phi 40\text{mm}$ 의 볼밀로 가공한 형상을 피삭재로 해서 모의가공한 형상을 보여주고 있다. 그림의 일부분이 가공된 것을 확인할 수 있다.

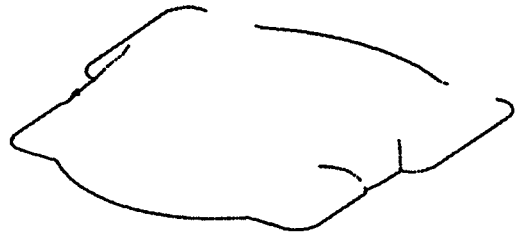


Fig.7 조건을 만족하는 펜슬가공점들

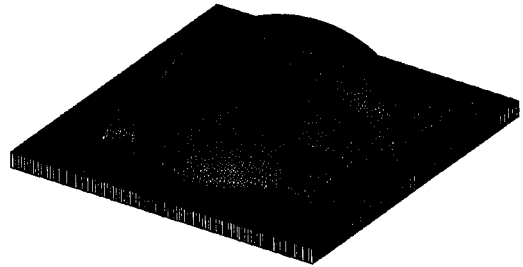


Fig.8 펜슬가공경로를 이용해 모의가공한 형상

4 잔삭가공

4.1 잔삭부위의 처리

잔삭가공은 오목한 부위에서 정삭가공후에도 절삭되지 않는 미절삭부위를 가공하는 단계로 보통 현장에서는 이러한 부분은 사상 작업이나 방전가공에 의해 제거되고 있다. 물론 이러한 부분을 제거하기 위해 정삭단계에서 사용된 공구보다 작은 공구와 정삭가공과 같은 주사선 경로로 가공을 한다면 일부는 제거되겠지만 이 방법은 시간이 많이 소요되는 방법이기에, 이러한 부분만을 효과적으로 탐색하여 적절히 가공해줄 수 있는 가공 경로를 만들 수 있다면 사상작업이나 방전가공에 사용되는 시간을 줄일 수 있을 것이다. 실제 금형 생산시간의 1/3정도가 사상작업이나 방전가공에 소비되고 있다고 한다.

4.2 미절삭 부위 탐색을 이용한 방식

4.2.1 미절삭 부위 탐색

Z-map으로 표현된 정삭가공후 형상($Zf[i,j]$)과 설계 Z-map 모델의 형상($Zo[i,j]$)의 각각의 격자점에 대해 감산($Zf[i,j]-Zo[i,j]$)을 하여 '0'보다 큰 값이 나온 부

중으로써 주가공에서는 볼록한 부분을 기준으로 절삭 속도를 설정하여 가공할 수 있도록 해주는 역할을 담당하는 가공이다..

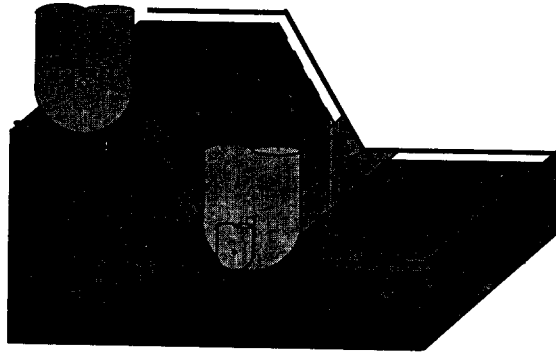


Fig.1 펜슬가공이 필요한 위치

3.2 펜슬가공영역 탐색

펜슬 가공이 필요한 부분은 z-map곡면상의 오목한 부분이지만, 오목한 부분중에서도 펜슬가공의 효율을 높이기 위해 어떤 부분을 가공해줄 것인가에 대한 기준을 설정할 필요가 있다.

Z-map모델에서 오목한 부분은 offset surface에서도 역시 오목한 부분이 될 것이다. Z-map에서는 Laplacian map^{[2][5]}을 이용하여 오목한 부분을 쉽게 구할 수 있다. Laplacian map은 곡면의 곡률을 근사적으로 표현하는 model로 곡면상의 곡률변화를 쉽게 관찰할 수 있도록 해준다.

설명의 편의를 위해 임의의 곡면에 대해 $\phi 20\text{mm}$ 황삭가공을 한다고 하면 먼저 Z-map모델로부터 반경 10mm의 offset Z-map을 구한다. 그리고 Laplacian map을 이용하여 offset Z-map에서 오목한 부분의 격자점을 찾아낸다. Fig.2는 offset Z-map상에서 오목한 부분의 개략도를 보여주고 있는데 여기서 P2와 P3는 offset Z-map에서 Laplacian 근사 곡률식을 이용하여 오목한 부분으로 탐색된 격자점이라고 하면 앞뒤격자점 P1과 P4를 이용하여 두 직선을 정의하고 두직선의 교차점 Pi를 계산해냄으로써 오목한 부분에 대해서만 정확한 offset 점을 구한다. 이러한 격자점들은 물론 과절삭이 없도록 다시 그점에 대해서만 offset 높이 값을 구하여 펜슬가공후보점으로 저장한다.

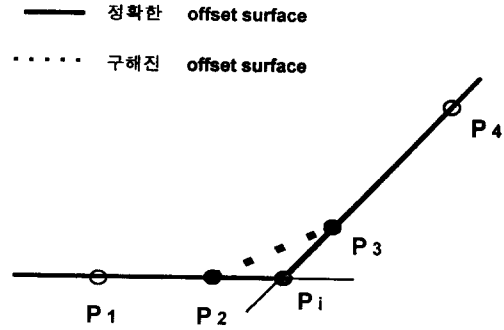


Fig.2 정확한 pencil 가공 위치점

구해진 펜슬가공후보점에서 펜슬가공이 필요 없는 부분을 제거하기 위해 원래 곡면을 반경 10mm의 블렌딩 곡면을 생성한다. 물론 이 곡면은 앞에서 설명되었듯이 반경 10mm로 가공한 형상과 같다. 그리고 이 곡면과 원래 곡면의 z-map모델과 비교해서 높이차가 공구 반경의 3/4 이상인 블렌딩 곡면의 격자점을 저장해둔다. 물론 공구 반경의 3/4이상이라는 기준은 사용자에게 따라 변경될 수 있다. 이렇게 되면 펜슬가공을 위한 기초작업은 완료된다.

이제 펜슬가공 후보점과 높이차 3/4이상인 블렌딩 곡면의 격자점들과의 거리검사를 행한다. 후보점과 높이차 3/4인 격자점의 거리가 공구 반경안에 들어 오게 되면 후보점들은 최종적으로 펜슬가공을 위한 점들로 결정이 된다.

3.3 실행예

Fig.3은 앞절에서 제시한 방법을 테스트하기 위해 임의로 디자인된 곡면의 형상이며 크기는 200mm×200mm×60mm이다. Fig.4는 이 곡면의 $\phi 20$ 블렌딩 곡면을 보여주고 있다.

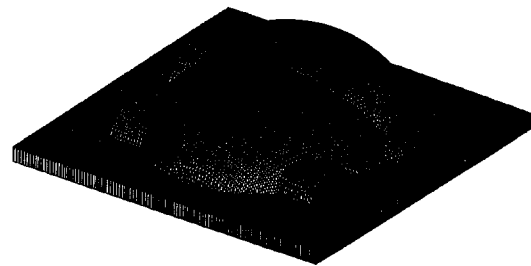


Fig.3 장난감 자동차 형상

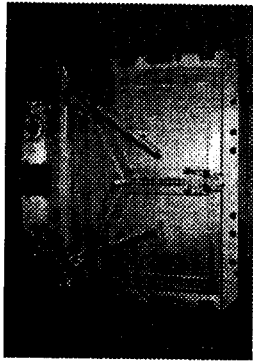


Fig.18 모니터 금형

5 결론

본 논문은 Z-map 모델을 삼각형 다면체로 변환하여 K-offset 방식으로 정확한 offset 곡면을 구하고 고속 가공 기술에 필요한 pencil 가공과 잔삭 가공 경로를 생성하였다. pencil 가공에는 꺾임 부분과 높이를 고려한 정량적 방식으로 정확한 가공 경로 생성을 시도하였다. 잔삭 가공 경로 생성은 주어진 표면 정밀도를 만족하지 못하는 점들을 탐색하여 가공 영역을 설정하고 그 영역을 가공 시간을 기준으로 최적 가공하는 방식과 사용자가 지정한 영역을 가공 시간을 기준으로 최적 가공하는 방식을 시도하였다.

6 참고문헌

1. Lee.C.S., 1994, "Toolpath generation in NC machining of automobile panel die", SAE, Vol.2, No.5, pp.74~84.
2. Saito,T., Takahashi,T., 1991, "NC machining with G-buffer Method", Computer Graphics, Vol.25, No.4, July.
3. Takeuchi,Y., Sakamoto,M., Abe,Y. and Orita,R., 1989, " Development of a personal CAD/CAM System for Mold Manufacturing Based on Solid Modeling Techniques", Annals of the CIRP, Vol.38, pp.429~432.
4. B.K.Choi, Y.C.Chung, J.W.Park & D.H.Kim,1994,

"Unified CAD-System architecture for die and mould manufacturing ", CAD, Vol.26, No.3, pp.235~243.

5. Kondo,T., Kishinami,T., Saito,K., 1988, "Machining System Based on Inverse Offset Method", J. of JSPE, Vol.54, No.5, pp.971~976.

6. Mizugaki,Y., Hao,M., Sakamoto,M., Makino,H.,1994, "Optimal tool selection based on geometric algorithm in a geometric cutting simulation",Annals of the CIRP,Vol.43, No.1, pp.433~436

7. J.P.Duncan, S.G.Mair, 1977, "The Anti-Interference Features of Polyhedral Machining", in advances in Computer-Aided Manufacture North-Holand Pub. pp.181~195.

8. Jun.C.S., B.K.Choi, 1989, "Ball-end Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Sculptured surface", CAD, Vol.25, No.6, pp.371~378.

9. 최병규, 정연찬, 1995, "Z-map을 사용한 모의가공과 NC-code의 검증", 산업공학, 8권, 3호, pp.155~169.

10. Jerard,R.B., et al., 1989, "Methods for Detecting Error in Numerically Controlled Machining of Sculptured Surfaces", IEEE Computer Graphics & Applications, January, pp.26~39.