

자동차 부품금형의 고속모의 가공용 CAM시스템 개발 (Development of CAM system for high speed cutting simulation in automobile part die)

장동규, 김준형(전북대원), 조시완(금호타이어), 양균의(전북대)
D.K., Chang, J.H., Kim(Graduate School, Chonbuk Univ)
S.W., Cho(Kumho Tire Co), G.E., Yang(Chonbuk Univ)

ABSTRACT

근래에 들어, 금형생산 시간의 단축과 고정밀도의 제품을 생산하기 위해 실가공전의 설계단계에서 금형 데이터를 수치적으로 검증할 필요가 높아지고 있다. 기존의 저가형 CAM시스템에서 사용된 경로표시법으로는 이러한 검증이 불가능하기 때문에 새로운 방법의 도입이 필요하며 모의가공 형상의 표현에서도 비매개변수형 곡면을 이용하는 방법이 널리 사용되고 있다. 본 연구는 3축 금형가공에 사용되는 볼엔드밀, 평엔드밀 공구에 대해 Z-map을 기반으로 절삭부위를 비매개변수형 곡면으로 모델링하여 모의가공을 수행하고자 한다. 또한, 새로운 bucketing영역지정 방법을 사용하여 모의가공의 효율을 높였다.

Keywords : Cutting simulation(모의가공), Bucketing(버킷팅), Z-map modeling(Z-map모델링)
Tool-path verification(공구경로 검증)

1. 서 론

수개 또는 수십 개의 많은 자유곡면으로 이루어진 복잡한 제품의 금형을 가공하기 위해 생성한 가공 데이터는 시스템의 자체 오류와 사용자의 실수 등으로 인한 오류를 포함하고 있다. 이런 NC데이터를 사용할 경우 과절삭, 미절삭 등에 의해 최종 형상의 불량률 가져오며 충돌로 인해 기계의 파손이 발생할 수 있고 이로 인해, 가공시간의 낭비 및 납기 지연으로 생산비의 증가와 생산성이 저하될 수 있다. 따라서, CAD/CAM시스템에서 생성한 NC데이터는 실가공전에 충분한 검사가 이루어져야 한다.

복잡한 형상의 경우 실제 가공된 형상은 실가공전에 확인이 불가능하기 때문에 실가공 전에 먼저 목재, 석고, 플라스틱 등 절삭이 용이한 재료를 미리 가공하여 가공형상을 확인하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 이 방법은 기계 setup 및 가공시간이 많이 걸리며 감각적인 관찰이 대부분이고 수치적인 검증이 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다.

그래서, 이러한 문제점을 해결하고 설계단계에서 금형데이터를 수치적으로 검증할 필요성이 높아짐에 따라 많은 연구가 진행되고 있다.

Wang[1]은 모의 가공된 형상을 표현하기 위해 솔리드 모델을 기법을 사용하였다. 이 방식은 기본적

인 모의 가공 계산 방법으로 가공 피삭재 형상에서 공구의 궤적이 형성하는 부피(Cutter Swept Volume)를 빼(Boolean subtraction)는 방법을 취하고 있다. 하지만 솔리드 모델은 공구의 커썬(cusp)을 포함하는 부드럽지 못한 가공면을 표현하는데는 적합하지 못하며 많은 데이터량과 계산량이 필요하여 실제 PC에서는 구현할 수 없는 방법이다.

Jerard[2]는 삼각형 다면체 모델을 기반으로 곡면을 표현하였으며 평면, 구, 원통과 같이 쉽게 해석이 가능한 기본 형상들의 합집합과 교집합으로 공구 이동 궤적체를 모델링하고 모델링된 궤적체와 수직 벡터와의 교점을 구하는 방법을 연구하였다.

최근에는 Z-map모델을 기반으로 가공 형상을 표현하는 방식의 연구[3][4][5][6]가 활발히 진행되고 있으며 이 방법은 가공형상을 실제 형상과 유사하게 표현할 수 있으며 간단한 데이터 구조이므로 효율적인 계산 방법을 개발하기에 용이하다는 장점을 가지고 있다.

위와 같이 모의 가공의 여러 방법 중에서도 3축 모의가공에는 Fig.1과 같은 수직 방향의 벡터 모델을 이용하는 방법이 속도가 빠르고 정밀도가 높은 것으로 알려져 있다[2][6]. 수직벡터로 모델링된 피삭재에서 공구가 한 번 움직여 가공한 양만큼 피삭재를 제거하기 위해서는 Fig.1과 같이 공구 이동 궤적체와 수직 벡터와의 교점(Intersection points)을

계산할 필요가 있다. 이 경우, 3축 모의 가공에서는 공구가 이동하면서 생기는 체적의 아래쪽 부분에 해당하는 부분만 비매개변수형 곡면으로 모델링하면 쉽게 교차점을 구할 수 있다.

본 연구에서는 일반적으로 3축 급형 가공에 사용되는 공구인 볼엔드밀, 평엔드밀 공구에 대해 Z-map을 기반으로 공구 아래쪽 부분에 해당하는 부분을 비매개변수형 곡면으로 모델링하며 기존의 방법에 비해 더욱 빠르게 모의 가공을 수행하고자 한다. 또한, 기존 CAM시스템이 가지고 있지 못한 Color Map을 개발하여 사용자가 간섭 여부를 육안으로 확인할 수 있을 뿐만 아니라 간섭이 발생할 경우(볼록간섭), 개발된 볼록 공구 간섭 제거 알고리즘 [7]에 의해 볼록 간섭을 제거함으로써 공구 간섭이 완전히 제거된 공구 경로를 얻고자 한다.

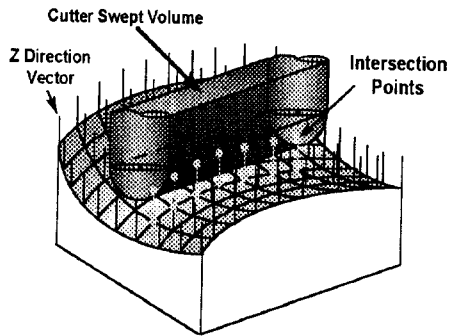


Fig.1 수직벡터 모델의 모의 가공 개념도

2. Z-map에서의 모의 가공

실제 NC가공에서 공구가 움직이면서 피삭재를 깎아내듯이 공구가 한 번 움직일 때마다 가공물의 형상을 Z-map모델에 반영하면 Z-map에서 모의 가공을 할 수 있다. Z-map모델은 각 격자점에서 높이값만을 갖고 있기 때문에 Fig.2와 같이 각 격자점에서 가공되기 전 피삭재의 높이값 (z_b)과 공구가 움직인 케직면의 높이 (z_p)를 비교해서 낮은 값을 취하면, 공구가 한 번 움직여 가공된 피삭재의 Z-map 모델을 얻을 수 있다. 가공된 Z-map모델의 어떤 격자점 (x_p, y_p)에서의 높이값은 다음식으로 표현할 수 있다.

$$z_m = \text{Minimum}(z_b, z_p)$$

where, z_m : 모의가공후, 한 격자점 (x_p, y_p)
 z_b : 가공되기전 격자점 (x_p, y_p)에
 z_p : (x_p, y_p)에서의 공구 케직면의

결국 Z-map모델의 어떤 격자점 (x_p, y_p)에서 공구 케직면의 높이값을 구하는 것이 Z-map 모의 가공의 주된 연구 분야라고 할 수 있다.

본 연구에서는 공구의 반경, 공구의 형태와 공구의 움직임이 정의되면 Z-map의 격자점 (x_p, y_p)에서의 높이값 z_p 를 구하는 과정을 한 step이 생성하는 케직면의 높이만을 고려하여 볼엔드밀과 평엔드밀에 대해 구하기로 한다. Fig.3은 공구의 한 step이 stock의 일부분을 이동할 때 생기는 케직면의 형상과 가공후 형상을 보여주고 있다. 전체적인 가공 형상은 공구 경로로부터 이러한 step을 얻어내고 계속적으로 연결하면 얻을 수 있다.

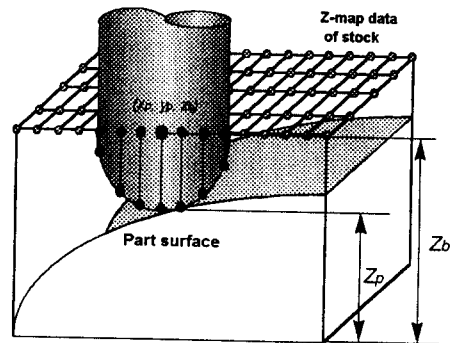


Fig.2 NC simulation with Z-map model

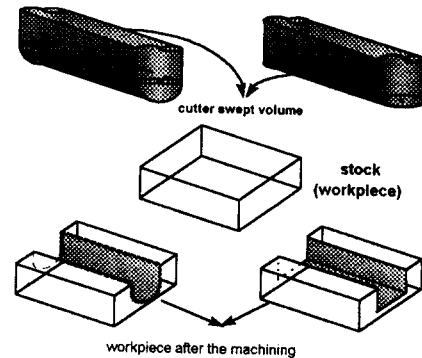


Fig.3 Geometric Substraction

2.1 볼엔드밀

볼 엔드밀이 움직일 때 형성되는 궤적면은 구를 움직여서 형성되는 면이므로, 원기둥면이 된다. 그래서, Fig.4에 나타난 것과 같이 볼 엔드밀의 궤적면에서 격자점 (x_p, y_p) 의 높이값 z_p 를 구하기 위해서는 다음과 같은 비매개변수식을 유도할 수 있다. 다음의 식을 이용하면 쉽게 z_p 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta &= \cos(w/r) & t &= r \cdot \sin \theta \\ h &= t \cdot \sin \phi & c &= l - h \\ z_p &= z_s + c \cdot \tan \phi - t \cdot \cos \phi \end{aligned}$$

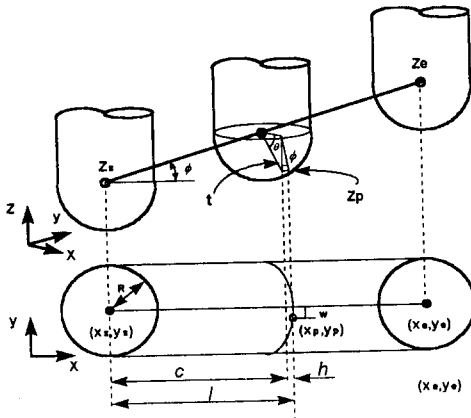


Fig.4 Swept volume With ball mill

2.2 평엔드밀

평엔드밀 움직여서 형성되는 궤적면은 원판이 비스듬히 움직여서 형성되는 면으로 타원기둥면이 된다. 높이값 z_p 은 Fig.5에서 보이듯이 다음의 식을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h &= \sqrt{(R^2 - w^2)} \\ c &= l - h \\ z_p &= z_s + c \cdot \tan \phi \end{aligned}$$

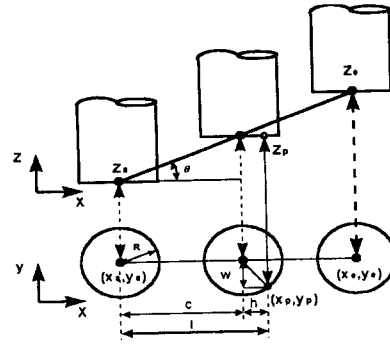


Fig.5 Swept Volume with Flat mill

2.3 Bucketing 방법

공구 경로가 대부분의 경우와 같이 $X=C, Y=C$ 인 평면과 평행한 형태로 설정되어 있다면 Z-map에서 공구궤적면의 투사영역내에 있는 Z-map데이터를 쉽게 얻을 수 있지만, 경로가 등고선 가공 경로와 같이 임의의 평면과 평행한 형태로 설정되어 있다면 쉽지 않다. 만약 모의가공을 할 때 투영영역내에 있는 Z-map데이터를 신속하게 호출하지 못하면 모의가공 시간이 많이 걸리고, 효율이 좋지 못하게 된다. Bucketing은 이와 같이 모의가공의 효율을 높이기 위해 Z-map 데이터의 불필요한 검사를 줄이기 위해 사용되는 프로그램적인 기법이다.

기존의 연구에서도 곡면점군에 대해 이러한 bucketing을 시도한 예를 찾을 수 있다[2][8]. 이들 연구에서는 bucketing 전략을 수립할 때 정의역내의 곡면을 일정간격으로 격자를 설정하여 격자안에 해당되는 불규칙적으로 분포되어 있는 데이터를 linked list에 모두 저장하여 두었다가 공구궤적면이 격자안에 들어갈 때 모든 격자안에 있는 데이터에 대해 공구궤적면과의 교차점을 구하고 있는데 이 방법은 해당되지 않는 데이터까지 계산을 하기 때문에 계산 시간 뿐만 아니라 메모리 낭비가 심하고 데이터 관리가 쉽지 않기 때문에 이를 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 Fig.6에서와 같이 공구의 궤적면을 X-Y 평면에 투영시키고 시작점과 끝점에서 공구가 만드는 x,y의 최대값과 최소값을 먼저 구하여 최대값과 최소값이 만드는 사각형과 공구 중심점의 시작점과 끝점을 이용해 만들어진 직선 L1, L2를 이용하는 방법으로 한 step에 대한 bucketing을 수립한다.

직선 L1이 $a_1x + b_1y + c_1 = 0$ 이고, 직선 L2이 $a_2x + b_2y + c_2 = 0$ 라고 하면 다음의 조건 1과 2를 만족하는 Z-map (x_p, y_p) 만이 한 step에 대한 공구 궤적면의 투영면에 속하게 된다.

1. $minimum(x, y) \leq (x_p, y_p) \leq maximum(x, y)$
2. $|a_1x_p + b_1y_p + c_1| \leq R$
 $|a_2x_p + b_2y_p + c_2| \leq s_1$

위 식을 이용하면 공구 궤적 투영면에 들어오는 Z-map데이터를 기존의 bucketing보다 불필요한 계산량이 줄어들기 때문에 전체적인 모의 가공시간의 단축 뿐만 아니라 데이터를 담아둘 필요가 없기 때문에 메모리 절약과 데이터 관리가 훨씬 쉬워지게 된다.

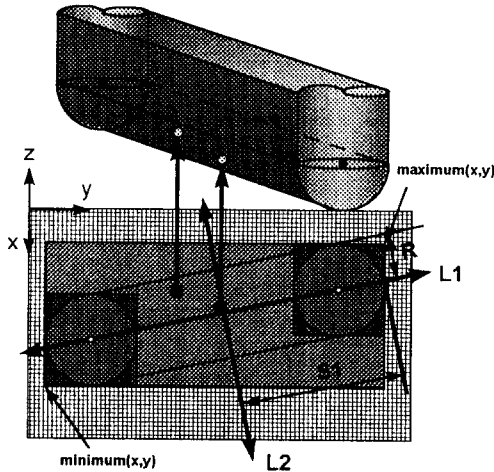


Fig.6 Bucketing strategy

3. 모의 가공 예

예제에 사용된 곡면은 장난감 자동차 형상으로 크기는 격자간격 0.5mm으로 크기는 200mm×200mm×60mm이다.

본 연구에서 제시한 방법을 시험하기 위해 일반적인 주사선 황삭 가공 경로를 이용하였다. Fig.8, Fig.9는 같은 반경(R10)의 볼밀과 평밀을 사용할 때 같은 공구 경로로 모의 가공한 형상을 보여주고 있다.

모의 가공 시간은 공구 형태와 path interval, step length에 따라 다르지만 예제에 사용된 곡면의 경우

제시된 bucketing방법을 사용했을 때와 하지 않았을 경우 약 30%이상의 시간차가 있음 알 수 있었으며, 전체적인 모의 가공 시간은 Pentium(60)에서 Fig.7의 볼밀의 경우 약 20초, Fig.8의 평밀은 18초 정도 소요되었다.

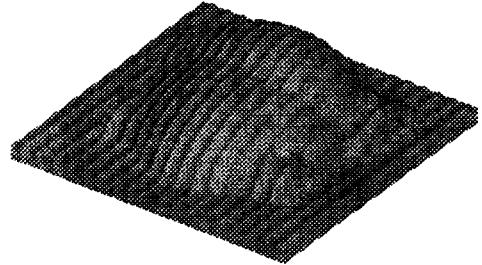


Fig.7 Workpiece after rough machining with R10 ball mill

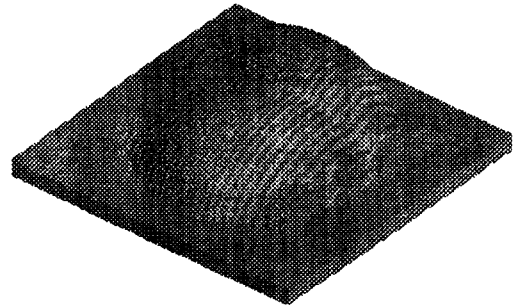


Fig.8 Workpiece after rough machining with R10 flat mill

4. 모의 가공된 형상의 검증

Z-map모델은 일정한 간격으로 z값만을 저장하는 모델이기 때문에 가공된 형상과 설계형상의 z값만을 비교함으로써 과질삭과 미질삭부위를 쉽게 탐색할 수 있을 뿐만 아니라 이를 이용해 각 단계의(황삭, 중삭, 정삭)가공 경로 생성 routine으로 feedback함으로써 간섭이 배제된 공구 경로를 얻을 수 있으며 특히 미질삭부위에 대한 잔삭 가공 경로 생성이 용이하다.

모의 가공된 Z-map모델(가공 형상)의 하나의 격자점(z_m)과 CAD Z-map모델(설계형상)의 일대일 대응의 격자점(z_s)과의 높이차(z_2)를 계산해서 음수

값이 나오면 파절삭이 발생하는 것이고 양수값이 나오면 미절삭이 발생한 부분임을 알 수 있다.

$$z_z(i, j) = z_m(i, j) - z_r(i, j)$$

where, z_m : 가공 형상의 Z-map 모델 데이터
 z_r : 설계 형상의 Z-map 모델 데이터
 z_z : 높이 차이값

Fig.9는 황삭가공후 형상에 대한 것으로 미절삭부분만 있을 뿐 파절삭부분은 존재하지 않는 모습을 보여주고 있다. Fig.9에서 회색부분이 미절삭부분이고 줄무늬(연청색)는 z_z 값이 영(zero)인 부분을 나타내고 있다.

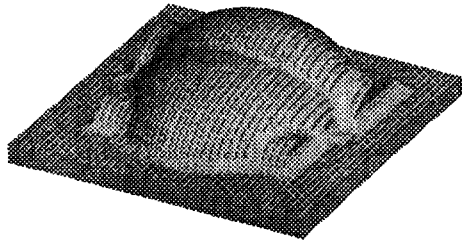


Fig.9 Color map for rough cutting simulation

5. 결론

Z-map을 기반으로 하여 절삭부위를 비매개변수형 곡면으로 한 모의가공을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3축 금형가공에 널리 사용되는 볼앤드밀, 평앤드밀 공구에 대해 Z-map을 기반으로 비매개변수형 곡면을 도입하여 모의가공시간을 단축하였다.
 2. 모의가공의 효율을 높이기 위해 새로운 bucketing 영역 지정 방법을 모색하여 모의가공의 효율성을 높였다.
 3. 모의가공중 미절삭부위 및 파절삭 부위를 color로 표시하여 사용자가 쉽게 파절삭 및 미절삭부위를 탐색할 수 있게 하였다.
- 추후의 연구과제로는, 모의가공에 필요한 절삭력의 예측 및 공구의 파단과 마모의 검출을 위한 Data Base 구축이 필요하다.

6. 참고문헌

1. Wang, W.P., Wang, K.K., 1986, "Geometric Modeling for Swept Volume of Moving Solids, IEEE Computer Graphics & Applications, December, pp.8~17.
2. Jerard, R.B., Drysdale, R.L., etc, 1989, "Methods for Detecting Error in Numerically Controlled Machining of Sculptured Surfaces", IEEE Computer Graphics & Applications, January, pp.26~39.
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. Hsu, P.L. and Yang, W.T., 1993, "Realtime 3D Simulation of 3-axis Milling using Isometric Projection", CAD, Vol.25, No.3, pp.215~224.
6. 정인찬, 최병규, 1996, " 모의 가공을 위한 공구 이동 궤적면의 비매개변수형 모델링", 한국 CAD /CAM 학회논문집, 제1권, 제1호, pp.45~55.
7. 조시완, 강성기, 양균의, 고성립, 1996, "해석적 복합 곡면 가공에 있어서의 공구 간섭 제거에 관한 연구", 한국정밀기계공학회논문집, 제13권, 제9호, pp.156~164.
8. 박정환, 1994, " 금형의 5축 NC가공을 위한 CAM시스템 개발에 관한 연구", 박사학위논문, KAIST