

## 볼 엔드밀을 사용한 곡면가공 시뮬레이션 시스템 개발

박홍석(울산대 기계공학과), 박준학\*(울산대 대학원 기계공학과), 이재중(K IMM)

### Development of Simulation System Curved Surface Rendering using a Ball-end Milling

H. S. Park(Mech. Eng. Dept., UOU), J. H. Park(Mech. Eng. Dept., UOU), J. J. Lee(KIMM)

#### ABSTRACT

They use a Ball End-mill in order to manufacturing sculptured surface when making metal mold, mold, cars and aircraft. In the work of a Ball End-mill case, customers do not often satisfied with manufacturing precision. Eventually, they have to re-work for the purpose of meeting manufacturing precision. There are resulted in lots of loss, whereby, in terms of both time and costs. The reasons of tolerance reducing manufacturing precision are thermal strain, the surface is damaged because of increasing cutting force and tool wear, tool deflection etc.. We focus on, however, manufacturing precision caused due to deflection of tool.

**Key Words** : Ball-end mill(볼 엔드밀), Cutting force (절삭력), System(시스템), Simulation(시뮬레이션)

#### 1. 서론

볼 엔드밀은 금형이나 몰드, 자동차, 항공기 제작에 있어 Sculptured(조각과 같은 무늬가 있는) 표면을 가공하기 위해 사용된다. 볼 엔드밀 가공에서 가공 정밀도가 종종 소비자의 요구를 충족시키지 못한다는 경우들이 발생하며, 결과적으로 가공 정밀도를 만족시키기 위해 재가공을 해야 되는데, 이로 인하여, 시간과 비용적으로 많은 손실을 초래한다. 가공 정밀도를 저하시키는 가공 오차의 원인으로서의 열변형, 공구 마모와 절삭력 증가에 의한 표면 손상, 공구 처짐 등 다양한 원인이 있지만, 본 논문에서는 공구 처짐에 의해 발생하는 가공 오차에 중점을 두고자 한다.

이 논문에서 개발된 볼 엔드밀 시뮬레이션 시스템의 목표는 공구 처짐으로 발생하는 가공 오차를 줄임으로써 가공 정밀도를 향상하기 위한 시스템을 개발하는 것이다.

이를 위해 3차원 볼 엔드밀의 절삭력 모델을 개발하고 시뮬레이션 한다. 또한, 상용 CAD 시스템의 형상 및 가공 정보를 이용함으로써 모델링에서부터 가공 경로 생성, 그리고 경로 보정이라는 과정을 일괄적으로 수행할 수 있도록 한다. 이를

통해 사용자는 가공 전 시뮬레이션을 통해 가공 오차를 줄일 수 있는 기회를 제공받는다. 따라서, 실제 가공에서 보다 높은 가공 정밀도를 얻을 수 있을 것이다. 엔드 밀링에 있어서 가공 중 엔드밀의 처짐은 가공 오차 발생의 주원인으로 작용하여 고정도 가공에 직접적인 제약이 되고 있다. 공구 처짐을 가공 중 공구에 작용하는 절삭력과 외팔보 형태의 공구 형상에 따른 강성 부족에 의해 발생한다. 본 연구에서는 엔드밀 가공에서의 절삭력을 계산하고 공구 경로를 수정하는 시뮬레이션 시스템을 구축한다. 이를 위해 절삭력 모델을 개발하고 상용 CAD 시스템에 모듈화가 가능한 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이것은 CAD에서 모델링된 제품 모델의 정보와 CAM에서 생성된 가공 정보를 이용할 수 있는 장점이 있다. 다시 말해, 최초 모델링에서부터 NC코드 생성, 그리고 이를 보정하는 시뮬레이션이 일괄적으로 수행될 수 있음을 의미한다.

#### 2. CAD/CAM 시스템

가상 가공 시스템은 가공 정보가 포함된 제품 모델로부터 가공 정보를 획득하고 이를 이용하여 가공 시뮬레이션을 수행한다. 이를 위해 CAD/CAM을

지원하는 상용 시스템의 사용이 불가피하다. 이것은 가상 가공 시스템 개발에 있어 추가적으로 CAD 기능의 개발에 필요한 시간, 비용을 절감할 수 있다. 또한, 가상 가공 시스템 개발과 모듈화가 가능하도록 자체적으로 프로그래밍 언어를 지원하여야 한다. 이러한 목적에 적합한 상용 시스템을 검토해 본 결과로, Uni-Graphics(이하 UG)가 이러한 목적에 부합되었다.

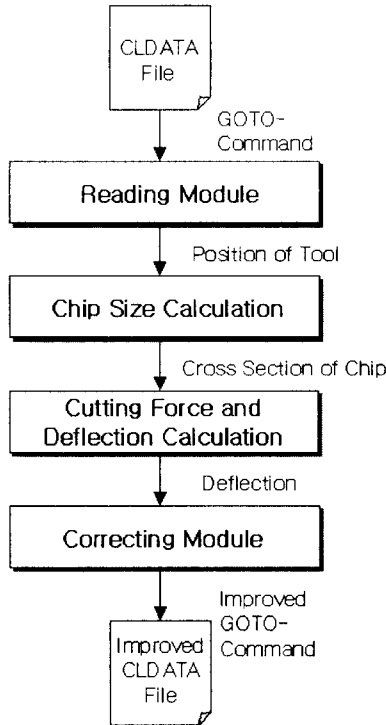


Fig. 1 가상 가공 시스템의 구조

UG는 개별 모듈 개발을 지원하기 위해 UI-Styler와 UFunction을 포함한다. UI-Styler는 시스템 개발에 있어 윈도우 제작에 필요한 다양한 컨트롤들을 포함한다. UFunction은 UG의 다양한 기능들을 함수화시켜 놓은 것으로서 시스템의 기능에 필요한 다양한 함수를 지원한다.

이러한 상용 시스템을 기반으로 가상 가공 시스템을 개발하기 위한 전체적인 구조는 Fig.1과 같다. 우선적으로 CLDATA 파일에서 가공 경로를 획득한다. 가공 경로를 따라 공구를 이동시키면서 가공 시뮬레이션을 행한다. 이에 따른 절삭 단면적과 절삭력이 계산되며, 절삭력으로부터 공구 처짐을 계산한다. 계산된 공구 처짐량 만큼 원래의 CLDATA 파일을 수정하여 가공 경로를 향상시킨다.

### 3. 시스템의 구축

UG(Uni-Graphics)에서 모델링된 제품 모델의 정보와 CAM에서 생성된 가공 정보를 이용하기 위하여 UG에서 지원하는 다양한 UFunction을 이용한다. 여기에는 공구와 가공물이 교차되는 부분으로부터 단면적을 계산하는 함수가 있으며, 이를 이용하여 간단하고 빠르게 절삭 단면적을 계산할 수 있다.

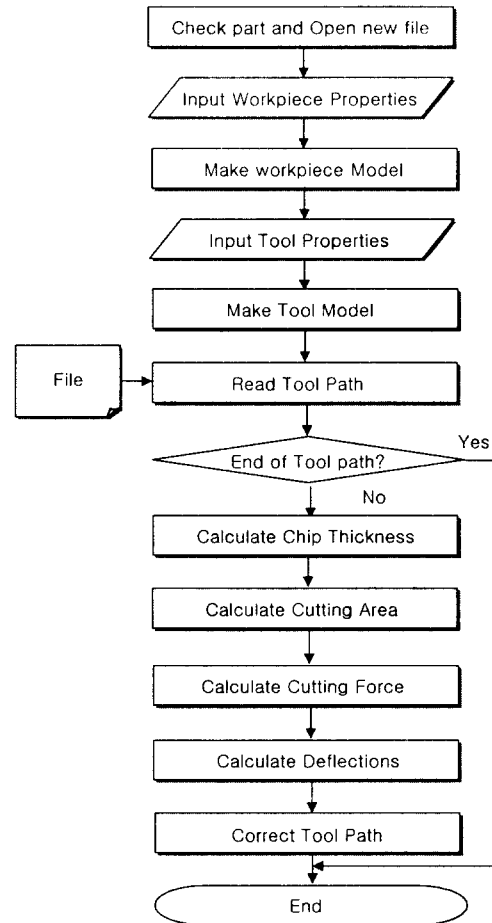


Fig. 2 시스템의 전체 알고리즘

이 함수를 통해 얻어진 절삭 단면적으로 절삭력을 계산한다. 공구 처짐량은 공구 홀더에 고정된 공구가 절삭력에 의해 처지는 양이다. 공구 홀더에 고정된 공구는 외팔보의 형태로 가정한다. 초기의 생성된 공구 경로를 계산된 공구 처짐량만큼 보정하여 새로운 경로를 생성한다. 보정 시스템의 전체적인 알고리즘은 위의 Fig. 2와 같다.

Fig. 3은 시스템의 User Interface이다. 본 시스템은 5개의 모듈로 나누어져있고 각 모듈이 하는 역할은 계산할 것인지를 선택할 수 있게 한다.

Main 모듈은 시스템 전체 알고리즘대로 움직이는지를 체크하고, Load Workpiece 모듈, Make Tool 모듈, Load Operation File 모듈, Choose Error Function 모듈에서 받아오는 데이터를 받아서 공구와 가공물의 교차 부분의 형상을 UF-mod1-ask 함수를 사용하여 절삭 단면적을 구한다. Load Workpiece 모듈은 Workpiece을 불러서 화면에 보여주는 역할을 하고, Make Tool 모듈은 공구 특성이 입력되면 UF-mod1 함수를 사용하여 공구 모델을 생성한다. Load Operation File 모듈은 UF-udop, UF-oper함수를 사용하여 가공 정보 중 공구 경로를 읽어온다. 그리고 공구 모델을 공구 경로에 따라 이동시켜 가공 시뮬레이션이 이루어진다. Choose Error Function 모듈은 어떤 가공오차를 구해진 절삭 단면적으로부터 절삭력과 공구 처짐량 만큼 보정하여 공구 경로를 수정한다. 이 때 이러한 과정은 공구 경로의 수만큼 반복된다. 공구 경로 정보는 볼 앤드밀의 끝점의 x, y, z 좌표로 나타낸다.

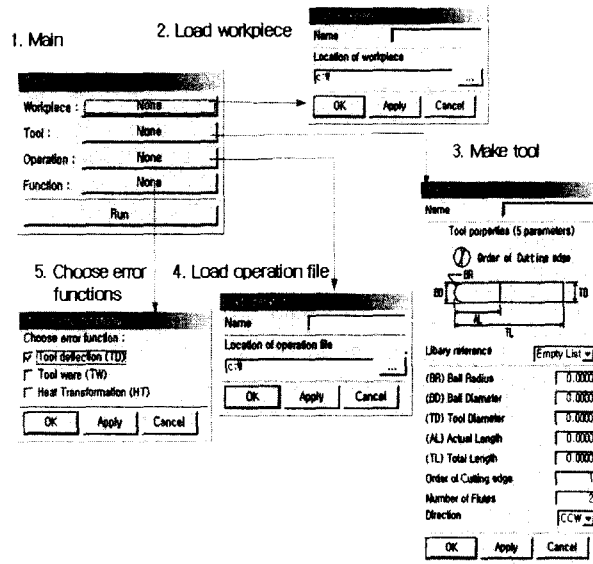


Fig. 3 시스템의 User Interface

이 과정에서 중요한 작업은 절삭 단면적을 구하는 것인데, Fig. 4에서처럼 공구의 Cutting edge와 Workpiece가 만나는 점에서 intersection point가 생성되는데 이 점을 찾기 위해서는 먼저 Tool과 Workpiece의 겹치는 부분을 Subtract한다. 그러면 3개의 edge로 구성된 새로운 Cutting face가 생성된다. Cutting edge를 일정각으로 회전시킨다.

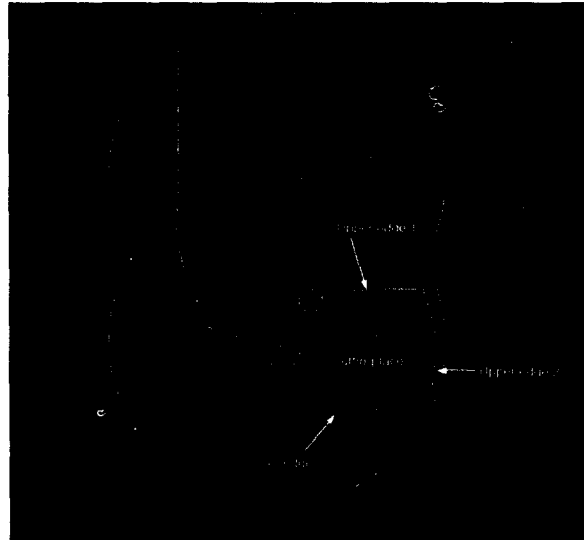


Fig. 4 Intersection Point

그리면서 Cutting edge와 lower edge의 intersection point를 찾는다. Cutting edge와 upper edge 1 (또는 2)의 intersection point를 찾는다. intersection point로 칩의 단면적을 구한 후 절삭력 모델의 수식에 따른 절삭력과 공구 처짐을 계산한다. Fig. 5는 시뮬레이션 과정에서의 얻어진 intersection point값을 그린 그래프이다.

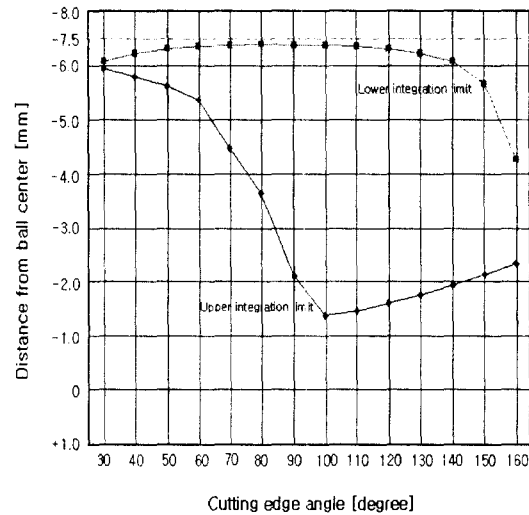


Fig. 5 3축 볼앤드밀링에서의 Z축의 intersection point

#### 4. 시뮬레이션

구축된 시스템을 사용하여 가공 시뮬레이션을

하였다. 공구는 15mm 볼 앤드밀, Workpiece는 Length : 10 mm, Width : 100 mm, Height : 50mm, Uphill angle : 10degree, Rotation interval : 10 degree, Y-axis interval : 5mm로 하였다. 공구 경로는 금형 제작에 있어서 정삭 과정에 해당하는 경로만을 시뮬레이션 하였고, 자유곡면을 사용하였다. 결과는 절삭력이 Fig. 6과 같이 나타났다.

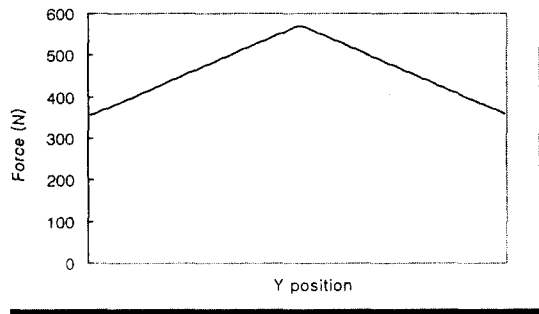


Fig. 6 절삭력 시뮬레이션 결과

## 5. 결론

본 시스템을 비교적 단순한 환경을 가진 시뮬레이션을 통해 검증해 보았다. 현재 초기의 공구 경로와 보정된 공구 경로를 이용하여 실제 가공을 통해 검증이 이루어지지 않은 단계이다.

본 연구를 통해 CAD 데이터를 가지고 실제로 가공하지 않고 시뮬레이션을 통해서 CAM 시스템을 사용하여 생성된 공구 경로를 시뮬레이션하고 이를 보정하는 모듈을 개발하였다는데 의의를 두고자 한다. 이러한 보정 시스템은 사용자에게 가공 전 시뮬레이션을 통해 가공 오차를 줄일 수 있는 기회를 제공함으로써 실제 가공에서 보다 높은 가공 정밀도를 얻을 수 있도록 한다.

차후, 가공 실험을 통해 본 시스템을 검증하는 단계를 거쳐야 할 것이다. 또한, 단순한 곡면이 아니라 복잡한 형상을 가진 자유곡면에도 적용할 수 있도록 하계될 것이며, 공구 처짐 외에 열변형 및 공구 마모에 의한 가공 오차를 보정하기 위한 모듈을 포함할 예정이다.

## 후기

본 연구는 한국기계연구원과 한국과학재단지정

울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가연구 센터의 부분적 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

1. 박홍석, 유재학, 이재중, "볼 앤드밀 가공에서의 공구처짐 보정을 위한 시뮬레이션 시스템 개발" 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 206-210, 2000.
2. Schwab, J. "Kompensation der Fräserabdrängung beim Schlichten von Hohlformen", Dissertation Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2 : Fertigungstechnik, Nr. 441, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1997
3. 양민양, 최종근, "정밀 앤드밀링을 위한 실시간 공구 처짐 보정 시스템", 대한 기계학회 논문집(A), 제 21권 제 2호, pp. 189-198, 1997
4. M. Yang, H. Park, "The prediction of cutting forces in ball-end milling", Int. J. of Machine Tool Design and Manufacture 31(1), pp 45-54, 1991
5. F. Abrari, M. A. Elbestawi, "Closed form formulation of cutting forces for ball and flat end mills", Int. J. of Machine Tool Design and Manufacture 37(1), pp 17-27, 1996
6. H. Feng, C. Menq, "The prediction of cutting forces in ball-end milling process - Part I : Model formulation and model building procedure", Int. J. of Machine Tool Design and Manufacture 34(5), pp 697-710, 1994
7. H. Feng, C. Menq, "A flexible ball-end milling system model for cutting force and machining error prediction", ASME J. of Manufacturing Science and Engineering 118, pp 461-469, 1996
8. G. Yucasan, Y. Altintas, "Prediction of ball end milling forces", ASME J. of Engineering for Industry 118, pp 95-103, 1996
9. M. E. Martellotti, "An analysis of the milling process", Transaction of the ASME 67, pp 677-700, 1941
10. UG Manual, "UG/Open API Reference", Ver 15.0
11. UG Manual, "Manufacturing", Ver 15.0