

절삭 가공 시뮬레이션 시스템의 개발에 관한 연구

이상규*, 박재민, 노형민 (한국과학기술연구원, CAD/CAM 연구센터)

Study on Geometric Simulation System of Machining Operations

S. K. Lee, J. M. Park, H. M. Rho (CAD/CAM Research Center, KIST)

ABSTRACT

This paper presents a geometric machining simulation algorithm to enhance the reliability and user-friendliness of a comprehensive computer aided process planning (CAPP) system by verifying generated NC data. In order to represent the complex machining geometry with high accuracy, the proposed algorithm is developed based on a boundary representative (B-rep) solid modelling kernel. Solid models are used to represent the part geometry, tool swept volume and material removal volume by Boolean unite and subtract operations. By integrating a machining simulation procedure into the CAPP system, the systematic analysis of the tool path can be implemented synthetically. To demonstrate and check the validity of suggested system, a simple example of simulation is represented and the result is discussed.

Key Words : Machining Simulation (절삭 가공 시뮬레이션), NC Code (NC 코드), Material Removal Volume (소재 가공 체적), Instantaneous Cutter Immersion Geometry (순간 절입량)

1. 서론

기계 부품 및 금형의 가공에 광범위하게 이용되는 절삭 가공 작업의 생산성을 향상시키기 위한 방안으로, NC 코드(NC Code)의 오류 검증 및 최적화에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 기존의 연구는 크게 솔리드 모델(Solid Model)에 기반한 방법과 벡터 모델(Vector Model)에 기반한 방법으로 구분할 수 있다.

벡터 모델에 기반한 절삭 시뮬레이션 기법으로는 Z map 방식¹, Vector Clipping 방식 등이 있다. 이러한 모델은 단순한 자료구조로 인하여 Boolean 연산을 수행하기에 용이하며 계산시간이 비교적 빠르다는 장점이 있으나, 계산의 정밀도를 높일 경우 계산시간이 기하급수적으로 증가하고 부품의 형상이 복잡한 경우에 표현이 어렵다는 단점이 있다^{2,3}.

이에 반하여, 솔리드 모델로는 B-Rep, CSG Voxel 등이 있으며 상대적으로 복잡한 자료구조로 인하여 계산시간이 오래 걸린다는 단점이 있으나, 피삭재의 형상이 복잡하더라도 표현이 용이하여 계산의 정확성이 매우 높다는 장점이 있다^{4,6}.

최근의 급격한 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 보

다 정확한 계산 결과에 대한 요구가 증대되고 있으며, 제품의 개발 및 생산에 관련된 모든 정보를 통합함으로써 생산성을 향상시키려는 시도가 지속적으로 진행되고 있다⁵.

이에, 본 연구는 특정형상을 이용한 자동 공정 설계 시스템인 FAPPS (Feature Based Automatic Process Planning System)⁷에서 생성된 공정 및 작업 정보와 NC 코드로부터 가공 상의 문제점을 사전에 검출하여 절삭 공정의 생산성을 향상시키기 위하여, 경계 표현 방식의 솔리드 모델을 이용한 통합형 절삭공정 시뮬레이션 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템은 부품의 공구경로를 검증하고 정확한 기하학적 절삭 가공 시뮬레이션을 수행한다. 또한, 사용자의 편의성을 위하여 절삭 공정을 실시간으로 랜더링함으로써 실제 작업조건과 유사한 가상 절삭 가공 환경을 제공한다.

2. 절삭 공정에 대한 기하학적 해석

경계 표현 방식의 솔리드 모델은 자유곡면을 쉽게 표현할 수 있고 직관적인 자료구조를 가진다는 특징이 있으며, 일반적으로 제품의 설계에 많이 이

용된다. 복잡한 형상을 구현하기가 용이하고 정확한 계산 결과를 기대할 수 있으므로, 본 연구에서는 상용 경계 표현형 솔리드 모델러인 ACIS 8.0 을 이용하여 절삭 공정 시뮬레이션을 수행하였다. 계산 결과를 사용자에게 효과적으로 전달하기 위하여 실시간 렌더링을 구현하기 위하여 HOOPS 7 Library 를 이용하였다.

본 연구에서 개발된 절삭 가공 시뮬레이션 시스템은 다음과 같은 순서로 연산을 수행한다. 먼저, 주어진 공구경로에 대한 공구 이동 궤적을 구한다. 가공하고자 하는 소재의 형상으로부터 불리언 (Boolean) 연산을 통하여 공구 이동 궤적을 제거해 나가면 가공된 부품의 최종 형상을 얻고, 제거된 부분은 실제 가공량과 기하학적으로 동일한 형상을 갖는다. 시뮬레이션을 통하여 얻은 부품의 최종 형상과 주어진 설계 모델을 비교하면 가공상의 기하학적 오류를 검출할 수 있으며, 제거된 가공량에 대한 해석을 통하여 절삭작업에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 예측할 수 있다.

2.1 공구 이동 궤적의 정의

공구가 공구경로를 따라 움직이면서 지나가는 공간을 공구 이동 궤적이라고 정의할 수 있다. 절

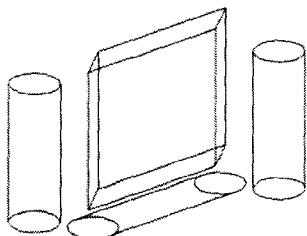


Fig. 1 (a) Simple primitives for tool and swept volume

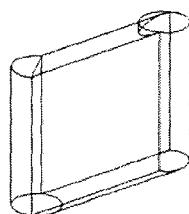


Fig. 1 (b) Tool swept volume by Boolean unite operation

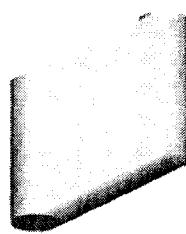


Fig. 1 (c) 3D rendered image of tool swept volume

삭 가공 시뮬레이션을 위해서는 일차적으로 공구가 이동하면서 지나가는 궤적을 계산해야 한다. Fig. 1 은 앤드밀에 대한 공구 이동 궤적을 생성하는 원리를 나타낸다. 주어진 공구형상과 공구경로에 대한 정보를 이용하여, Fig. 1 (a)와 같이 공구의 시작점과 끝점에서의 공구에 대한 솔리드 모델을 정의하고, 공구의 바닥면과 공구의 측단면을 공구경로에 대하여 Sweep 연산을 수행하면 공구 이동 궤적의 정의에 필요한 기본 형상을 모두 얻을 수 있다. Fig. 1 (b)와 같이 불리언 연산을 통하여 하나의 채적으로 합하면, 절삭 가공 시뮬레이션을 위한 공구 이동 궤적을 얻을 수 있다. 얻어진 공구 이동 궤적을 삼차원 이미지로 렌더링하면 Fig. 1 (c)와 같다. 이와 같은 방법을 공구의 형태에 따라 적절히 확장하면, 드릴, 페이스 밀, 슬롯 커터 등 서로 다른 형상을 갖는 다양한 공구에 대하여 공구 이동 궤적을 정의할 수 있다.

2.2 순간 절입량의 계산

코너부를 가공하거나 매우 복잡한 형상을 가공할 경우에는, 급격한 가공 부하의 변동으로 인해 원활한 가공을 수행하기가 어렵기 때문에, 일반적으로 작업자는 경험에 의존하여 보수적인 절삭조건을 설정하는 경우가 많다. 또한, 절삭작업의 생산성을 증대시키기 위하여 점차 고속가공이 일반화되고 있으나, 급격한 가공 부하의 변화는 공구의 파손과 같은 치명적인 오류를 유발한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 절삭 공정 시뮬레이션을 통하여 공구의 파손이나 채터링, 과도한 절삭력으로 인한 표면 오차의 발생과 같은 치명적인 오류들을 사전에 검출하려는 연구가 다양하게 수행되었으나 순간적인 가공량의 변동을 계산하기 어렵다는 한계가 존재했다⁶. 공구에 작용하는 가공 부하는 제거되는 침의 부피에 의하여 결정되므로, 가공량을 정확히 계산하지 못하면 가공 부하에 대한 예측값도 신뢰하기 어렵다. 따라서, 실제

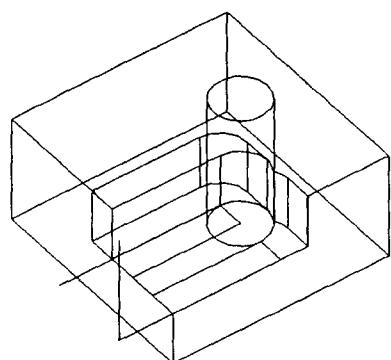


Fig. 2 Machining simulation in corner cut with end mill

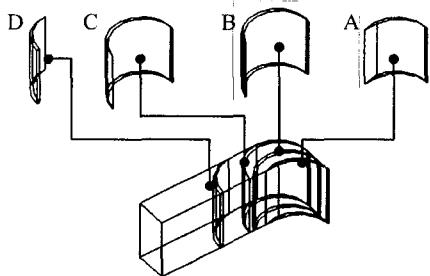


Fig. 3 Instantaneous cutter immersion geometry

절삭 작업에서 발생할 수 있는 다양한 오류들을 사전에 검증하기 위해서는 순간 절입량의 정확한 계산이 필수적이다⁵.

솔리드 모델을 이용한 절삭 공정 시뮬레이션의 가장 큰 장점은 매우 정확하게 순간 절입량을 계산할 수 있다는 점이다. 가공물의 최대 너비가 10m라고 할 때, 계산 결과의 정밀도는 1/1000mm 미만의 허용오차 범위 내로 수렴한다. Fig. 2 와 같이 단순한 코너부의 가공에 대한 시뮬레이션을 통하여 제안된 모델의 특성을 살펴볼 수 있다.

피삭재와 주어진 공구 이동 궤적과의 교집합을 구하면, Fig. 3 과 같이 제거되는 형상에 대한 솔리드 모델을 얻는다. 일정한 간격으로 직선 경로를 따라 공구가 이동하는 경우에도, 그림에서 보는 것과 같이 공구의 이동방향이 바뀜에 따라 가공량이 크게 변화한다.

주어진 가공체적과 공구 표면과의 교집합을 통하여 임의의 공구 위치에 대한 순간 절입량을 얻을 수 있다. Fig. 3 에서, 공구가 진입하기 시작할 때의 순간 절입량은 A 와 같다. 점차 공구가 코너부로 진입함에 따라 절입량은 점진적으로 증가하여 C 에서 최대가 된다. C 영역을 가공한 후에 공구의 이동 방향이 바뀜에 따라 절입량은 순간적으로 감소하여 D 와 같은 형태를 갖게 된다.

이와 같이 순간 절입량을 정확하게 계산함으로써, 절삭 부하의 계산이나 순간 절삭력의 계산을 보다 정확하게 할 수 있다.

2.3 가공된 공작물 형상의 예측

모든 절삭 시뮬레이션이 끝나면, 가공이 완료된 공작물에 대한 삼차원 솔리드 모델을 얻는다. 제품의 설계 도면 또한 솔리드 모델로 저장되므로, 시뮬레이션을 통해 얻은 가공된 공작물의 형상과 데이터 변환하지 않고도 직접 비교가 가능하다. 따라서, 데이터의 변환 과정에서 발생할 수 있는 오차의 발생을 방지할 수 있는 이점이 있다. 만일, 두 모델의 형상이 서로 다를 경우에는 불리언 연산을 통하여 그 차이를 쉽게 검출할 수 있으며, 검출된

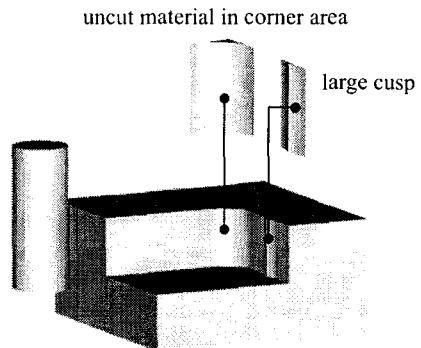


Fig. 4 Rendered image of tool and machined workpiece

영역은 과질삭이나 미질삭으로 분류한다.

Fig. 4 에서 가공이 완료된 피삭재의 형상을 살펴 본다. 측벽에 낚아 있는 Cusp 의 형태와 코너부의 미질삭 부위를 정확하게 추출할 수 있다. 만일, 가공오차가 허용공차를 벗어날 경우에는 공구경로를 수정하거나 제품의 설계를 변경하여 오류를 수정한다.

이와 같이 솔리드 모델을 이용할 경우 매우 정확한 계산 결과를 얻을 수 있으나, 계산속도가 느리고 많은 메모리를 요구한다는 단점이 존재한다. 그러나 급격한 컴퓨터의 발전을 고려할 때, 계산비용은 시간이 지남에 따라 급격히 감소할 것으로 예상된다.

3. 절삭 가공 시뮬레이션 시스템

3.1 그래픽 인터페이스

사용자의 편이성을 위하여 3 차원 그래픽을 통하여 절삭 시뮬레이션 과정을 실시간으로 렌더링한다. 공구 경로에 대한 확인과 피삭재의 절삭 과정을 실제 생산 공정과 유사한 환경에서 사전에 확인할 수 있게 함으로써 시뮬레이션의 생산성을 높일 수 있다.

실제 절삭작업과 유사한 환경을 제공하기 위하

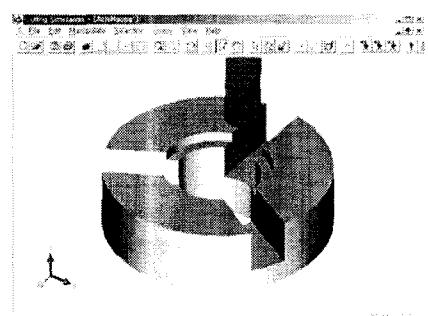


Fig. 5 Captured image of machining simulation module

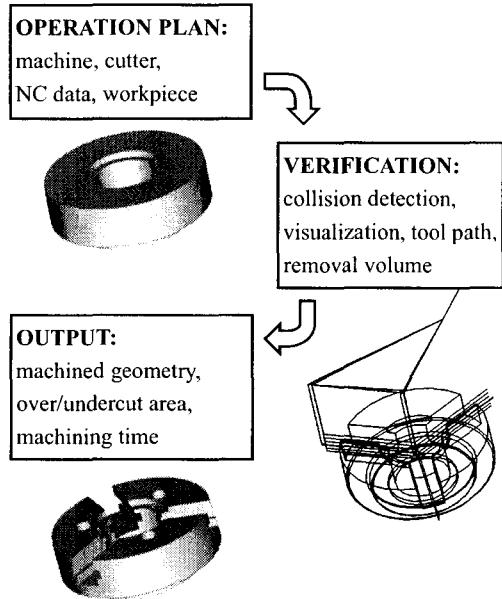


Fig. 6 Simulation of machining process in CAPP system

여, 공구 경로를 일정한 길이로 분할하고 실제 이 송속도와 동일한 정도로 화면상에서 보여지도록 업데이트 간격을 조절한다. 공작물이 제거되는 과정도 순차적으로 화면상에 업데이트한다.

3.2 CAPP 시스템과의 통합

본 연구를 통하여 개발된 절삭 공정 시뮬레이션 모듈은 시뮬레이션에 필요한 세부정보들을 CAPP 시스템으로부터 직접 전달받는다. 사용자가 키보드를 이용하여 세세한 정보들을 입력할 필요가 없기 때문에, 입력 과정상의 오류가 발생하는 것을 막고 작업의 효율성을 높일 수 있다.

또한, NC Code를 검증하면서 얻어진 다양한 기하학적 정보들은 절삭 시뮬레이션 모듈의 내부에서만 사용하는 것이 아니라, CAPP 시스템이 활용할 수 있는 형태로 변환되어 데이터베이스에 저장된다.

4. 결론

본 연구에서는 솔리드 모델을 이용한 절삭 공정 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 다양한 절삭 공구를 이용한 3 축 가공시 가공하고자 하는 부품의 형상에 대한 제약없이 정확한 기하학적 절삭 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 시뮬레이션 모듈은 CAPP 시스템으로부터 작업정보와 NC Code를 입력받아, 실제 가공에 대한 실시간 랜더링과 함께 순간 가공량과 최종 가공물에 대한 솔리드 모델과 가공중 발생할 수 있는 충돌, 과절삭, 미실

삭 등의 오류에 대한 검증 결과를 출력한다.

향후 연구 과제로는, 본 연구에서 얻어진 기반 기술을 이용하여 CAPP 시스템의 성능을 보완할 수 있는 통합 방법에 관한 연구와 시뮬레이션을 통하여 얻어진 기하학적 정보를 이용한 절삭 공정의 최적화 기법에 관한 연구 등이 있다.

후기

본 연구는 과학기술부의 국가 지정 연구실 사업(MI-0104-00-0054) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Anderson, R. O., "Detecting and Eliminating Collisions in NC Machining," Computer Aided Design, Vol. 10, No. 4, pp. 231-237, 1978
- Wang, W. P., "Solid Modelling for Optimizing Metal Removal of Three-Dimensional NC End Milling," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 57-65, 1988
- Takata, S., et al., "A Cutting Simulation System for Machinability Evaluation using a Workpiece Model," Annals of CIRP, Vol. 38, pp. 417-420, 1989
- Roy, U., Xu, Y., "Computation of a Geometric Model of a Machined Part from its NC Machining Programs," Computer Aided Design, Vol. 31, pp. 401-411, 1999
- Kang, Mujin Kang, Lee, Sang-Kyu, Ko, Sung-Lim, "Optimization of Cutting Conditions using Enhanced Z Map Model," Annals of CIRP, Vol. 51, pp. 429-432, 2002
- Spence, A. D., et al., "Integrated Solid Modeller based Solutions for Machining," Computer Aided Design, Vol. 32, pp. 553-568, 2000
- Kim, J. K., Rho, H. M., "Tolerance Representation of the Non-Topological Entities for Feature based CAPP," Proc. Int'l CIRP Design Seminar, Stockholm, Sweden, pp. 341-345, 2001