

금형 구조부 가공을 위한 CAM 시스템 안정성 조사

-Review of Safety for CAM System in Mold Structure Machining-

김형만*, 김종걸**

Hyung-Man, Kim · Jong-Gurl, Kim

Abstract

In mold structure machining, tool interference is a phenomenon which results from a collision between a blade of tool and a workpiece. Also tool collision is a phenomenon which results from a collision of holder with the object to be machined. These phenomena not only cause damages to mold and tool but also increase machining time and cost.

To detect a collision of a tool to mold structure, first of all, the mold structure and a tool must be defined with famous geometric models such as CSG, B-rep, and Voxel. A tool is defined as a combination of the blade, the shank, and the holder.

This thesis reviews various collision detection algorithms using z-map and computer 3D graphic collision detection algorithms for the tool in machining a mold structure.

Keywords : Interference, Collision Detection

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

금형 산업에서 사출 금형과 프레스 금형의 형상과 구조는 점점 복잡해지고 있는데, 그 원인은 크게 두 가지로 요약된다. 첫 번째는 제품 외관에 관한 최종 사용자의 심미적 요구가 날로 높아지기 때문이다. 이러한 결과로 최근의 금형 형상면은 CAD/CA

M 시스템을 이용한 자유곡면으로 모델링 되고 있다. 두 번째 원인은 제품의 개발 주기를 단축하고 생산성을 높이기 위해 사출 혹은 프레스 공정의 수를 줄이려는 노력이 금형의 구조를 복잡하게 하고 있다.

CAD 모델로부터 NC 공구 경로를 자동 생성시키는 전통적인 CAM 연구와 더불어, 생성된 NC 프로그램을 이용한 실제 가공에 앞서 허용 오차 범위를 넘는 과절삭이나 공구 간섭과 같은 NC 코드의 오류 여부를 컴퓨터상에서 시뮬레이션하는 연구들이 널리 수행되어 왔으며, 현재 대부분의 상용 시스템들은 공작물이 실제 가공되는 상황을 실시간으로 화면상에 디스플레이 해 주는 기능을 구비하고 있다.

금형 산업에서는 정확하고 효율이 높은 NC 코드를 사용하여 금형 가공의 무인 가공율을 높이고, 금형 설계의 3차원화의 향상과 금형제작 리드타임을 대폭적으로 단축할 수 있도록 노력하고 있다. 실시간 가공 시뮬레이션에서의 계산 시간을 단축시킬 수 있는 한 요인으로는 공구 간섭 제거와 충돌 현상을 검증할 수 있는 효율적인 알고리즘을 개발하는 것이다. 가공 공정에서 공구간섭은 금형 구조부 가공의 불량 원인이기도 하다. 이 요인은 가공시간을 길게 할뿐만 아니라, 가공비용에 있어서도 큰 영향을 끼치므로 반드시 해결해야 한다. 효율적 공구간섭 제거 알고리즘이란 금형 등의 가공에 있어서 공구, 절삭 조건 등을 기초로 가공 경로를 산출하고, 간섭 제거를 한 NC 코드를 자동적으로 생성하며, 특히 간섭 제거 시 정확하고 신속하며 데이터 저장 공간의 점유율이 낮은 알고리즘을 의미한다. 이러한 알고리즘의 적용에 의하여 재가공 또는 공구부의 손상을 사전에 방지하여 가공시간의 단축 및 가공비용의 절감을 달성할 수 있다. 특히 금형 제조업체들은 가공에 있어서 공구간섭 문제를 사전에 해결할 수 있는 CAM시스템을 적용함으로써 안전성을 보장하는 고품질의 금형 구조부 가공을 가능하게 한다. 따라서 제품개발 기간을 단축하여 고품질, 저비용 및 소비자의 요구 변화에 대응 할 수 있는 능력을 한층 높일 수 있다.

금형가공에 CAM 소프트웨어를 적용하여 공구경로를 얻고 나면 반드시 공구경로를 컴퓨터상에서 확인하여 경로에 따른 가공결과를 검증하여야 한다. 모든 CAM 소프트웨어는 이러한 기능을 탑재하고 있다. 생성된 공구경로에 따라 공구의 움직임을 추적할 때 사용자가 주의해야 하는 현상은 두 가지이다. 하나는 충돌(collision)이며 또 하나는 간섭(interference)이다. 충돌현상은 공구의 홀더부분이 금형 형상에서 가공될 부분의 수직벽에 부딪히는 경우에 발생하는데, 이때는 공구 홀더 형상과 수직벽 형상과의 교차점(intersection)을 찾는 계산이 필요하다. 간섭현상은 일반적으로 가공할 곡면의 폭이 가공할 공구의 날의 지름보다 더 작은 경우 두 길이의 차이만큼 과절삭 현상이 일어나는 경우를 말하며 이때는 공구 홀더와 금형 형상의 교차점뿐만 아니라 공구홀더와 금형형상의 곡률도 계산되어야 한다. 이러한 현상들은 모두 제거 되어야 하며 제거를 위한 기능들이 CAM 소프트웨어에 탑재되어 안전성을 추구해야 한다. 이를 위하여 많은 연구들이 수행되어 효율적인 알고리즘들이 개발되며 실제 가공 현장에 적용되고 있다. 보다 신속한 가공과 신속하고 정밀도가 높은

충돌 또는 간섭현상의 검출 등이 안전성 있는 CAM시스템 개발의 관건이 되고 있다.

따라서 공구 간섭은 생산성의 향상을 위해 반경이 큰 공구로 가공할 때 발생하는 현상으로 간섭이 발생하면 공구가 곡면의 원하지 않는 부분을 깎게 되어 금형의 정밀도를 크게 저하시키게 된다. 실제로 현장에서 사용되는 금형 제품은 단일 곡면뿐 아니라 단일 곡면에 여러 가지 해석적 형상이 조합된 해석적 복합 곡면으로 이루어진 제품이 대다수이다. 따라서 다양한 금형 형상의 제작을 위해 해석적 복합곡면이 사용되고 해석적 복합 곡면의 가공 시 곡면의 불규칙성으로 인해 공구 간섭 현상은 더욱 심화되어 단순히 오목 부위에서의 간섭뿐 아니라 볼록 부위의 간섭과 공구 측면에서의 간섭 등이 발생하여 정밀한 금형을 효율적으로 생산하기 위해 복합 곡면에서의 공구 간섭 현상에 대한 연구가 진행되고 있다.

프레스금형은 실제적으로 만들어 내고자 하는 제품을 설계한 제품형상 부분만이 아니라 제품을 양산할 수 있도록 높은 압력에 견딜 수 있도록 금형을 고정시키는 구조부 형상 부분으로 구성되어 있다. 제품형상 부분은 대부분 자유곡면의 복잡한 형상으로 이루어져 있지만 금형 구조부 형상은 볼록, 원통, 원뿔, 구 등의 기본형상으로 이루어져 있다. 금형가공에서 문제시되는 공구간섭 현상은 주로 제품형상부분을 가공할 때 해결하기 위한 검증 문제이다. 하지만 금형 구조부 형상에서는 단순한 가공경로를 가지고 있지만 공구의 간섭뿐만 아니라 홀더 부분의 충돌 현상이 많이 발생된다. 금형 구조부는 공구의 길이보다 깊은 측벽을 이루고 있어 가공할 때 공구 홀더부분이 측벽에 부딪히는 경우가 많다. 현재 금형산업에서는 생산성 향상을 위한 하나의 수단으로서 CAM 시스템에서의 공구충돌 기능을 보완하기 위하여 기존의 공구간섭 검출 알고리즘들을 활용하여 공구의 홀더를 고려한 공구 충돌 알고리즘 개발에 힘쓰고 있는 상황이다.

또한 기존의 CAM 소프트웨어는 기하학적 형상정보만을 이용하여 공구의 이송경로를 계산하기 때문에, 계산의 복잡성으로 인하여 공구 충돌이나 미절삭 및 과절삭이 발생하기 쉽고, 가공효율에 큰 영향을 미치는 가공조건을 사용자가 설정해 주어야 하므로 절삭효율의 저하를 발생시켜 안전성을 낮추고 있다. 그래서 공구간섭 검증 방법에 사용된 알고리즘들에 관한 기존 연구들을 조사하여 금형 구조부 형상에서 주로 발생하는 홀더...부분의 충돌현상을 검증하는 알고리즘을 비교하고자 한다.

따라서 가속화되는 국제경쟁과 고속가공기법의 확산과 같은 변화된 가공환경에서 제품개발시간을 단축하고 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 절삭가공의 효율 증대와 품질 향상을 위한 안전성 높은 CAM시스템 개발에 힘써야 한다.

1.2 연구범위

공구와 피삭재가 충돌하는 경우 기계의 손상은 물론이고 안전사고로 이어질 가능성이

매우 크다. 그리고 충돌로 인해 금형 가공 표면에 손상이 발생해서 용접을 하는 경우와 아울러 공구간섭 때는 과절삭과 미절삭이 일어나면 금형의 치수가 원하는 치수로 나오지 않아 심한 오차를 발생하게 된다. 이처럼 금형의 품질 뿐 아니라 최종 제품의 품질에도 영향을 미치게 된다. 피삭재를 새로 준비해서 가공하는 경우에는 소재와 추가적인 가공 비용이 발생하며 납기에 영향을 미치게 된다[3][4].

3축 밀링 가공에서 공구 충돌 검증은 사용자 관점에서 1)충돌 없는 영역 산출, 2) 최소 생크 길이 산출, 3)모의 가공의 세 가지로 나눌 수 있다. ‘충돌 없는 영역 계산’은 주어진 공구 (생크, 홀더 포함)로 충돌 없이 가공할 수 있는 영역을 계산하는 것인데 공구의 종류가 제한적이거나 가공성(machinability) 향상 등의 이유로 공구가 미리 지정되는 경우에 필요한 검증이다.

‘최소 생크 길이 산출’은 홀더가 주어져 있을 때, 충돌 없이 모든 영역을 가공할 수 있는 최소 생크 길이를 산출하는 검증이다. 일반적으로 생크의 길이가 짧을 수록 공구의 떨림이 적기 때문에 작업자는 최대한 짧은 공구를 사용하려고 하며, 일반적으로 홀더는 공구의 크기(지름)에 따라 정해지기 때문에 이러한 검증이 필요하다. 최근에는 더욱 저렴하면서도 수치적인 검증이 용이한 컴퓨터 모의가공이 일반적인 검증 방법으로 인식되고 있다[3]. 그러나 충돌을 고려한 가공 가능 영역에 관한 탐색과 생크의 길이 계산에 관한 기존의 연구는 현재까지는 미흡한 상태이다.

따라서 이러한 CAM 시스템의 안전성에 영향을 주는 요인을 중점적으로 분석 비교하고자 한다.

2. CAM 시스템의 안전성 평가 요인

2.1 가공물과 공구의 형상 모델링

제품이나 부품의 형상을 컴퓨터에 입력하여 저장하거나 도형을 출력하기 위해 형상을 기술하거나 모델링하는 것을 ‘형상기술(shape description)’ 또는 형상 모델링(Geometric Modeling)이라 한다[13]. 이 방법은 CAM 시스템에서 가공형상을 인식하고 있기 때문에 가공형상과 공구, 홀더 등과의 충돌을 체크할 수 있다.

일반적으로 3차원 형상 또는 솔리드(solid)를 생성, 기술하는 방법은 Sweeping, CSG(Constructive Solid Geometry), B-rep(Boundary Representation), 직교투영(Orthographic Projection)을 통한 생성 등이 있다.

이처럼 형상 모델링 기법에서 제공되는 기하 정보는 점, 선, 면, 기본형상(primitive)을 구성하는 인자 등인데, 이런 정보들은 형상에 대한 도면작성, 상세도, 디스플레이, 분석에 매우 적합하다.

형상 모델링에서 제공되는 기하 정보는 하위 레벨의 미세한 정보이다. 예를 들면, B-rep 모델은 점, 선, 면들로 표현되며, CSG 모델은 3차원 기본형상과 그들의 집합 연산으로 표현된다. 이러한 정보는 홀(hole), 포켓(pocket), 홀(hole)간 거리등과 같은 계산을 위하여 사용된다.

특징형상 모델링(feature modeling)은 특징형상이라는 상위레벨의 모델링 요소를 이용하여 일반적인 형상 모델링 기법보다 진보된 기하정보를 제공하기 위해 사용되는 방법이다[13]. 특징형상이란 설계, 가공, 조립, 검사 등 각 생산의 요소 기술 분야별로 필요한 공학적 의미를 내포하는 형상의 단위를 말하며, 제품 정의나 기하학적 추론을 위한 블록으로 간주되기도 한다. 이러한 특징형상은 기계가공에서 크게 두 가지로 나누어지는데 소재에서 필요 없는 부분을 제거함으로써 만들어지는 특징형상을 ‘함몰(depression)’이라 하고, 돌출된 형상으로 주변소재를 제거하고 남은 소재로 만들어지는 특징형상을 ‘돌출(protrusion)’이라고 한다.

특징형상은 적용분야에 따라 모형(form) 특징형상, 가공 특징형상, 조립 특징형상, 공차 특징형상, 검사 특징형상 등으로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 직접적으로 관련이 있는기계가공 특징형상에 대해서 검토한다. 절삭가공 특징형상(machining feature)은 소재를 기계 가공에 의해 필요한 형태로 원재료를 제거함으로써 생기는 가공물 형상이다. 가공 특징형상은 공구의 선택, 공구의 접근방향을 고려할 때 사용된다.

공구형상과 가공될 금형에 대하여 특정한 방법으로 모델링하면 각 형상에 대한 정보가 CAM 소프트웨어에 저장된다. 이러한 형상정보들에는 점, 선, 면이 있는데 이들 정보들은 공구경로 생성과 모의 가공을 위하여 필수적인 정보들이다.

가공물 형상을 표현하는 여러가지 방법은 수직 벽과 같은 형상을 포함하여 가공중인 공작물의 형상을 보다 완벽하게 나타낼 수 있다. 또한 입체형상을 완전하게 표현하므로 면 단위 작업과 부피 단위의 작업도 가능하다. 기본적인 가공형상의 구성으로는 블록, 원통, 원추, 구 등이 있으며 원하는 형상을 모델링하기 위해서는 삼차원 경계를 이루는 꼭지점, 모서리, 면을 조합하여 생성하게 된다.

NC 가공 검증 시스템은 모의 가공과 검증을 위한 피삭재와 공구의 형상을 표현하는 방법에 따라 1) 솔리드(solid) 모델, 2) 그래픽 기반(view-based) 모델, 3) 이산 벡터(discrete vector) 모델로 분류할 수 있으며, 각 방법은 계산속도, 정밀도 등에서 장점과 단점을 가진다[17].

2.2 공구 간섭과 충돌

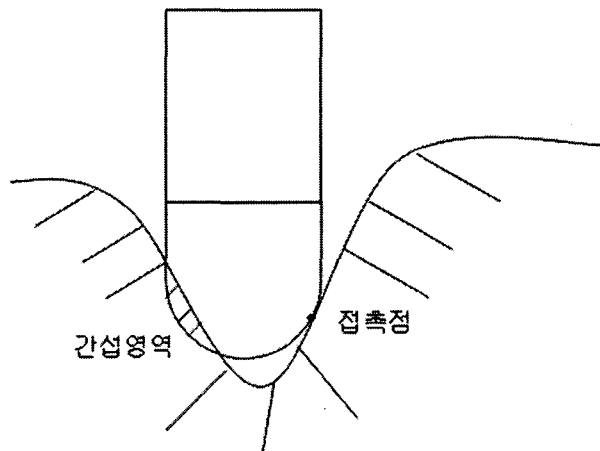
금형이나 금형구조부의 정밀도에 가장 영향을 많이 주는 요인이 공구 간섭 현상이다. 공구 간섭은 생산성의 향상을 위해 반경이 큰 공구로 가공할 때 발생하는 현상으로 간섭이 발생하면 공구가 곡면의 원하지 않는 부분을 깎게 되어 금형의 정밀도를 크게 저하시키게 된다. 일반적으로 공구간섭은 공구 구조에서 날 부분만을 고려한 현상을 말한다. 공구 충돌은 가공경로에 의해 이동되는 공구의

길이와 홀더부분에서 가공부분이 아닌 형상에 부딪히는 것을 말한다. 이런 현상은 기계의 고장과 공구의 파손 및 가공물의 손상을 초래한다. 본 연구에서는 공구가 가공경로에 의해 이동되는 경우와 공구가 이동만을 할 경우에 공구의 길이와 공구의 홀더 구조에 따라 발생하는 충돌현상을 서술한다.

현재 CAM 소프트웨어는 피삭재 모형을 컴퓨터 시뮬레이션하고 이때의 수치를 NC 기계에 입력함으로써 가공하게 되었다. 이 방법은 비용과 시간을 절약하고 보다 정밀한 가공이 가능하다는 장점을 갖고 있어 많은 발전을 해왔다. 그러나 많은 문제점도 가지고 있는데 그중 공구간섭의 검출이 가장 해결이 어려운 문제로 제기되었다. 공구간섭은 공구의 선정에 직접적인 제약이 되므로 CAM 소프트웨어에서 가공 시뮬레이션에 대한 효율에 많은 영향을 끼치고, 공정 계획의 선결 과제이며, 가공 경로에 있어서 많은 오류를 가져오는 부분이다.

공구간섭(cutter interference)이란 [그림 2.1]와 같이 부분적으로 오목한 곡면을 반경이 큰 공구로 가공할 때 공구가 곡면을 과절삭(overcut)하는 현상을 말한다. 일반적으로 공구간섭 방지에 있어서는 간섭원(interference source)을 발견한 다음, 간섭원 근방의 점에 대해서만 광역 탐색이 필요한 간섭 검사를 함으로써 계산의 효율을 높이고, 간섭 검사 시에는 다면체의 삼각형 면과 거리 계산을 행함으로 안정성을 높였다.

자유곡면 NC 가공에서의 공구간섭을 고려할때는 곡률과 공구의 관계성을 찾아내야한다. 이때 공구간섭이란 공구가 가공 곡면에 접해있을 때 공구 접촉점 이외의 부분에서 공구 곡면과 가공 곡면이 교차(intersect)점을 말한다. 가공 곡면 및 공구 곡면의 곡률과 공구간섭 간에는 공구 접촉점에서 가공 곡면의 법선곡률이 공구 곡면의 법선곡률보다 크게 되는 접선 방향이 존재하면, 그 공구 접촉점이 간섭점이 된다.



[그림 2.1] 공구간섭

한편, 공구의 충돌이란 개념적으로 공구가 움직일 때, 생크 혹은 홀더가 피삭재에 닿는지 여부를 확인하는 것이며, 바로 직전까지 가공된 피삭재의 형상과 비교하는 것이 가장 정확하게 확인하는 방법이다. 따라서 공구 움직임 하나 하나의 모의가공을 수행하면서 충돌을 확인하는 것이 안전성을 검증하는 효과적인 방법이다.

3. 공구간섭과 공구충돌 검증을 위한 연구

3.1 Z-map을 이용한 연구

Z-map은 자료구조 특성상 일정 간격으로 미리 정의된 xy 위치에서의 높이값을 2차원 배열 형태로 저장하는 자료구조를 가진다. 곡면 오프셋팅(offsetting), 블렌딩(blending), boolean 연산 작업 등 각종 변형이 간단하고 계산의 강건함(rubustness)이 좋은 모델인 반면, 수직벽이나 격인 모서리 등의 특징형상을 표현하는 데에는 어려움을 가진다[8].

Hook[8]는 z-map 자료 구조를 사용하여 밀링 가공을 실시간 시뮬레이션하기 위해서 z-map의 z축을 뷰잉 방향(viewing direction)과 일치시키고 z-map의 x, y 격자를 화면상의 픽셀에 일치시킨 후, 그에 맞추어 공작물에 대한 CAD 모델을 z-map으로 변환시킨다. 다음, 동작 지령에 따라 공구가 움직이면 공작물에 대한 z-map 모델을 갱신하고 그 결과를 화면에 디스플레이 한다. 이 방법에서는 z-map모델을 뷰잉 좌표계에 맞추어 생성하였기 때문에 화면상에 보이는 것은 가장 가까이 있는 z값이므로 별도의 계산이 필요하지 않다. 이는 z-버퍼(z-buffer)의 원리와 동일하며, 고속으로 디스플레이가 가능하다는 장점이 있다.

그러나 동시에 이 방법은 다음과 같은 몇 가지 단점도 가지고 있다. 첫째, 사용자가 뷰(view)를 변경하면 처음부터 그 단계까지 NC 시뮬레이션을 반복해야 한다. 물론 z-map을 복셀(voxel) 모델로 변경시켜 각 복셀에 대해 좌표 변환(transformation)을 적용시키면 변경된 뷰에 따른 모델을 바로 얻을 수 있으나, 이 방법을 사용하면 공작물 형상에 대한 시각적인 질이 좋지 못하다. 둘째, 검증에 적합한 방향이 뷰잉 방향과 일치 하지 않는 경우가 발생할 수 있는데, 이 방법에서는 검증을 위한 z방향이 항상 뷰잉 방향과 일치하기 때문에 이를 수용할 수 없는 문제점이 있다. 실제로 3축 밀링에서는 공구의 방향이 z-map의 z방향이 되는 경우에 가장 좋은 검증 결과를 보이는데 반하여, 시각적인 효과는 등축 뷰(isometric view)가 더 선호된다. 따라서 z방향을 뷰잉 방향과 별개로 가질 수 있도록 서로 분리시키는 것이 보다 바람직하다[18].

현재 사용하고 있는 winged-edge 자료 구조는 모서리를 중심으로 하여 각

각의 모서리에 이웃 하는 모서리, 그 모서리를 공유하는 두 개의 면, 모서리의 양 끝 꼭지점을 저장하는 구조이다. 일반적으로 기억 장소와 검색 효율성이 최 적에 가까운 구조이나 특정한 응용 분야에 대해서는 가장 효율적이라고 할 수 없다. 따라서 효율성을 보다 높이기 위해서는 최적의 자료 구조를 고안할 필요가 있다

따라서, z-map 자료 구조는 샘플링 간격이나 방식에 따라 표현의 정확도는 떨어지나 불리안 작업을 신속하고 안정되게 수행 하여, 시뮬레이션을 위한 계산속도가 빠르고, 알고리즘이 단순하며, 자료 구조의 관리가 쉽다.

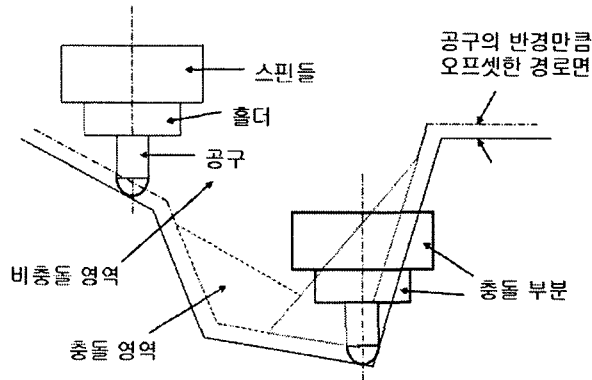
3.2 피삭재 형상을 z-map 자료구조로 표현한 연구

NC 정보를 생성하는 CAM 시스템에는 처리의 고속화, 고정밀도화가 강력히 요구되고 있다. 공작기계의 구조가 복잡해지면 피삭재와 공작기계와의 충돌도 더욱 정밀하게 검출 해야 한다.

3축 가공을 지원하는 CAM 시스템에 빼놓을 수 없는 기능이 충돌 회피 기능이다. 피삭재 형상을 z-map 자료구조로 표현한 연구[15]에서는 일반적으로는 피삭물 형상과 공구를 포함한 공작기계를 솔리드로 표현하고 3차원 솔리드 시스템의 기본 기능인 간섭 체크 기능을 이용하면 충돌 체크가 가능해진다.

그러나 가공이 진행됨에 따라 형상이 변화하는 피삭재 형상과의 충돌 체크를 고속으로 하려면 솔리드 데이터보다는 이산데이터를 사용하는 편이 효과적이다. 이러한 연구들에서는 피삭재 형상을 z-map 데이터 구조로 표현하고, 공구나 척(chuck), 주축(spindle) 형상을 간편하게 처리하기 위해 공구 중심에 선단을 맞춘 하나의 원뿔 형상에 가깝게 하였다. [그림 3.1]에 나타내는 바와 같이 공구, 척, 주축 형상을 XY 평면에 투영하고 이것들을 포함하는 사각형 영역을 설정한다. 이 사각형 영역내에 존재하는 z-map 데이터를 식별한다. 식별된 z-map 데이터에 대해 원뿔 중심축에서부터 벌어진 각도를 산출한다. 산출한 열립각 중에서 최소치를 구하고 원뿔 정수리각의 1/2에서 최소치를 뺀 값만큼 원뿔의 축을 이동하면 충돌을 피할 수 있다[15].

이러한 충돌 체크를 실시함에 있어서는 미리 가공 영역을 충돌이 생기는 영역과 충돌이 생기지 않는 영역으로 나누는 방식이 효과적이다.



[그림 3.1] 가공 공간의 영역 분할

3.3 복합 곡면 가공에 있어서의 공구 간섭 방지에 관한 연구

APT 방식[5], 다면체 근사 도형을 이용한 방식[4], 공구의 inverse offset을 이용한 방식[10], offset곡면의 교차곡선을 찾아 제거하는 방식[16], CC(Cartesian Coordinate)데이터와 offset 데이터간의 거리 검사를 통한 방식[11] 등의 연구 결과가 발표되었다.

위 연구들은 주로 자유 곡면으로 이루어진 단일 곡면에서 발생하는 오목 간섭 현상을 취급하였고 복합 곡면에서의 공구 간섭 제거는 CAM 소프트웨어에서 제시되어 있으나 상업적인 가치성 때문에 완전한 루틴의 제공은 제시되지 않고 있는 실정이다. 복합 곡면에서의 공구 제거에 대한 연구로 날카로운 모서리를 부드럽게 해주는 필레팅(filleting)과 라운딩(rounding) 기법을 이용하여 해석적 복합 곡면에서의 간섭을 간접적으로 다룬 연구[2]가 제시되어 있다. 아울러, 다면체 근사 도형을 이용하여 매개적 복합 곡면에서의 간섭을 처리한 연구[9]가 제시되어 있으나 곡면 전체에 대한 정보를 사전에 가지고 있어야 한다는 단점을 가지고 있다. 이 연구에서 제안하는 방식은 한 번의 공구 이동에 따라 얻어지는 곡면의 데이터를 가지고 데이터간의 거리 검사를 통한 간섭 검사방식[11]를 응용하여 간섭 영역을 검사하고 제거하였다. 이 방식은 처리하는 데이터의 양이 적기 때문에 처리 시간의 단축을 꾀할 수 있고 한번의 공구 이동에 대한 간섭이 없는 공구 경로를 얻을 수 있다. 특히 자유 곡면의 오목 부위에서 발생하는 간섭과 공구 측면에서 도형과 발생하는 측면 간섭 그리고 곡면의 블록 부위에서 발생하는 간섭 문제를 빠른 시간에 검사하고 제거하였다[12]. 또 곡면의 모델링에 주로 사용되는 솔리드 모델링의 기법인 CSG 기법을 사용하였다. 이 기법은 도형의 정의에 필요한 입력 데이터의 형식과 입력된 데이터를 바탕으로 계산한 도형의 형상을 정의하는 세부적인 데이터를 나타낸다.

3.4 다양한 공구 형상의 이동 궤적체를 이용한 연구

모의가공에 관한 연구는 상대적으로 많지만 'z-map' 모델을 이용한 모의가공 연구는 많지 않으며, 특히 몇 가지 공구 형상에 대해서만 연구되었다. 정연찬[17] 연구에서는 금형가공에 쓰이는 다양한 공구로 모의가공을 수행하기 위해 일반적인 공구 형상의 공구 이동 궤적체를 비매개변수형으로 모델링 하였다.

모의가공은 가공 데이터량이 많을수록 계산량이 많아진다. 금형가공의 경우 수십만에서 수백만 블록의 가공 데이터를 처리해야 하기 때문에 모의가공의 계산 효율을 높이는 것이 중요하다. 또, 공구가 움직여 피삭재를 제거하는 과정에서 최종적인 가공면을 빨리 얻는 것이 더 중요한 경우도 있다. 계산의 효율을 높이기 위해 Jerard[6]는 사각형 bucket을 이용했고, Oliver[7]는 공구가 움직인 체적(volume)을 감싸는 half-plane을 사용했다. 정연찬[1]의 연구에서는 금형가공에 사용되는 가공 데이터의 특성을 이용해서 최종 가공면을 빨리 얻는 방법을 제시 하였다.

충돌확인 은 모의가공의 개념을 적용할 수 있는 분야이지만, 밀링 기계의 헤드와 공구 홀더는 그 형상이 공구와 다르기 때문에 일반적인 공구 이동 궤적체 모델링 방법으로는 그 궤적체를 모델링할 수 없다.

정연찬[17]의 연구에서는 홀더의 이동 궤적면 모델링을 하여 가공물의 충돌 여부를 확인 하였다. 궤적면의 모델링에는 홀더를 여러 개의 원통과 원뿔의 궤적면으로 분해하는 경우와 하나의 궤적면으로 모델링 하는 경우가 있다. 그런데, 이 방법은 여러 궤적면의 높이를 매번 계산해야 하므로 분해된 궤적면의 수에 비례해서 계산량을 줄이는 것이 중요한 과제다. 그중에서도 홀더는 공구에 비해 그 크기가 매우 크기 때문에 계산량을 줄이는 것이 중요한 과제다.

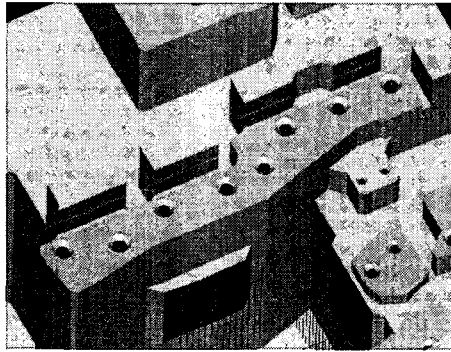
4. 금형구조부 가공을 위한 충돌검출 방법 정리

4.1 금형 구조부 가공

3축 CNC를 이용한 금형 구조부 가공에서는 Z축은 수직방향으로만 움직이기 때문에 공구의 중심축은 피삭재의 면과 수직을 이룬다. 또한 X, Y축은 Z축의 변화에 따라 좌우로 움직임만이 있다.

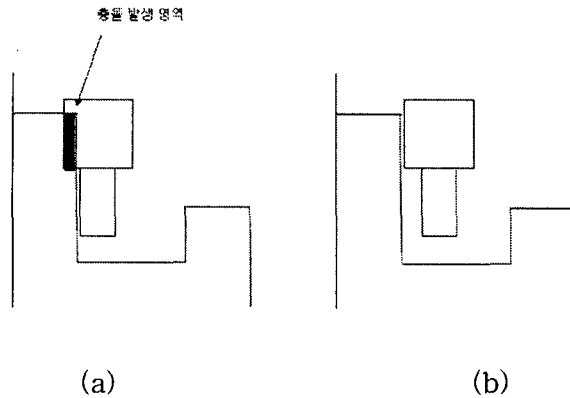
평 엔드 밀링 가공은 단순한 형태의 금형 구조부 가공에 폭넓게 사용되고 있으며 가공면의 정밀도를 평가하기 위해서 가공공구와 공작물간의 관계를 설정하여야한다. 공구 형상의 이동 궤적을 표현하기 위해서는 공구의 형상을 날

부분의 기하학적인 형상을 단순화 하여 원통형으로 표현하고 홀더의 부분도 계단 층을 이루는 각각의 원통형(cylinder)으로 표현할 수 있다. 같은 원통형으로 이루어졌지만 생크의 길이와 홀더의 길이 또한 각각의 반지름의 차이에 따라 기하학적인 정보를 가지고 있다. 이 정보로 날 부분인지, 홀더의 부분인지를 판별하여 공구 충돌 검증 대상의 영역을 구분하게 된다. 금형 구조부의 형상은 깊은 수직벽을 많이 이루고 있고 전체적인 형상은 단조로움을 갖고 있기 때문에 가공 시에 공구의 날 부분뿐만 아니라 공구의 홀더 부분의 충돌이 우려되므로 이에 따른 문제점을 해결해야 한다.



[그림 4.1] 금형 구조부 형상

금형 구조부 형상 가공에서의 충돌 발생의 경우는 [그림 4.2]의 (a)와 같이 공구의 홀더 부분이 측벽에 부딪히는 경우이다. 공구의 날 반경은 가공할 수 있는 영역이지만 홀더의 반경이 더 크기 때문에 가공할 수 없는 영역이 된다. 그래서 (b)와 같이 홀더의 반경을 고려하여 충돌 발생을 검출한 영역만을 공구가 가공할 수 있다. 이와 같이 공구의 날 부분은 가공할 수 있지만 홀더의 반경과 날의 반경의 차이만큼 가공할 수 없는 영역이 발생된다. 이 영역을 충돌 발생 영역으로 구분되어져 가공경로를 다시 생성하며 가공경로를 고려한 공구를 다시 선택한다. 이처럼 발생하는 홀더의 충돌은 금형구조부의 단순한 구성과 공구의 전체 길이보다 긴 수직벽으로 이루어져 있는 특징 때문에 자주 발생하는 문제점이다.



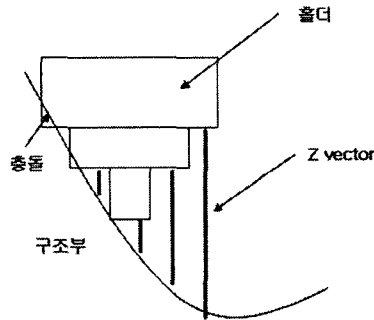
[그림 4.2] (a) 금형구조부의 충돌 발생, (b) 금형구조부의 충돌 검출

4.2 금형 구조부에서 충돌 검출을 위한 안전성 고려

금형 구조부 가공에서의 일반적인 공구 사용이 평 엔드밀을 사용할 경우 더 효율적인 공구 충돌 검출을 할 수 있는 방법은 공구 이동 궤적면을 계산하여 판별하는 것이다. 일반적으로 평 엔드밀은 수직가공에 사용되기 때문에 금형구조부와 같이 수직, 수평면이 많은 경우에 적용된다. 공구 이동 궤적면 계산에 필요한 연산의 횟수는 평 엔드밀이 볼 엔드밀보다 비교적 적다는 것을 알 수 있다. 따라서 금형 구조부 가공에서는 평엔드밀을 사용하는 것이 더 효율적으로 공구 충돌 검증 시간을 줄일 수 있다. 정연찬 등 연구[17]에서 제시한 궤적면의 모델링에는 홀더를 여러 개의 원통과 원뿔의 궤적면으로 분해하는 평 엔드밀의 공구 이동 궤적면 계산방법을 이용하고 있다. 그런데, 이 방법은 여러 궤적면의 높이를 매번 계산해야 하므로 분해된 궤적면의 수에 비례해서 계산량이 많아진다. 하지만, 충돌 부위의 확인이 쉬우므로 이 방법을 개선하여 충돌 검증 방법에 있어서 CAM 시스템의 안전성을 유지시켜준다.

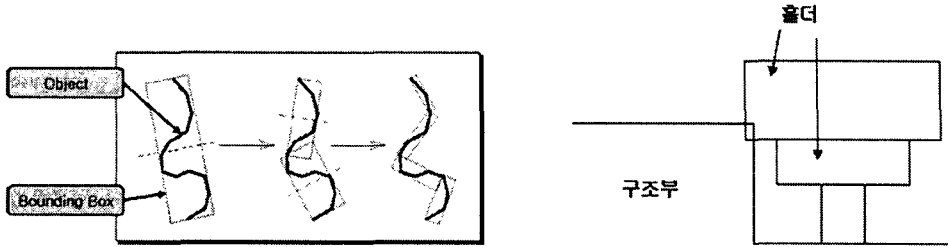
하지만 이 방법에서 공구의 이동에 따른 공구의 날 부분이 모델링된 형상대로 가공을 하지 않고 형상을 절삭해버리는 간섭과 가공경로에 따라 공구가 이동할 경우 측면이나 가공물 형상에 부딪히는 충돌 영역을 구분하여, 공구의 날 부분이 간섭을 발생하게 되면 바로 다른 경로를 생성하고, 가공되지 않은 부분은 다음 가공을 할 때 간섭을 회피할 수 있도록 적합한 공구의 날 반경을 갖은 공구를 선정하면 된다. 금형 구조부에서 주로 사용되는 평 엔드밀은 공구의 날 반경과 같으며 공구의 길이까지 원통형을 이루고 있다. 그래서 평 엔드밀의 공구 이동 궤적면에 z방향 값만 알고 있으면 이 부분에 대한 간섭 영역을 쉽게

구분할 수 있다. 가공할 부분이 홀더를 포함한다면 홀더의 높이 값은 필요 없이 홀더의 반경을 가공형상 면과의 거리계산방법에 의해 얻어내면 충돌 영역을 구분할 수 있다. 두 번째 방법은 하나의 궤적면으로 모델링해서 한 번의 계산으로 충돌을 확인하는 방법이다. 이 방법은 상대적으로 계산량은 적지만 홀더의 어느 부위에서 충돌이 일어났는지 확인하기는 어려워 정밀성이 떨어진다. 또, 홀더의 이동 궤적면을 표현하기 어렵기 때문에 적절한 크기의 작은 간격으로 가공 블록을 분할하고, 그 각각의 분할된 점에 놓여져 있는 홀더의 곡면을 샘플링하는 방법도 있다. 이 방법은 원하는 정밀도에 비례하게 가공 블록을 분할해야 하므로 많은 계산량이 필요하다. 첫 번째 방법에 의해 공구의 형상을 공구의 날, 홀더로 모델링하고 기본 단위 모형으로 분할하여 공구의 가공경로 이동 궤적면을 이용하면 공구 충돌 검출 방법에 대해 효율적인 개선이 된다.



[그림 4.3] Z-map을 이용한 홀더의 충돌 검증

[그림 4.3]와 같이 주로 공구의 날에서 발생하는 간섭을 검증하는데 사용되는 z-map이론을 적용하여 홀더에서 발생하는 금형 구조부 가공의 충돌 검출을 할 수 있다. z-map 자료구조는 샘플링 간격이나 방식에 따라 표현의 정확도는 떨어지나 금형 구조부를 이루는 기본 형상들을 표현하기에는 적합하다고 본다. 다시 말해서 구조부는 기본형상인 블록, 원통, 원뿔 등으로 이루어져 전체적인 형상이 반복되는 단조로움을 갖고 있다. 또한 공구의 구조를 이루고 있는 형상도 원통형을 이루는 실린더로 구성되어 있다. 따라서 블리안 작업을 신속하고 안정되게 수행 하여, 시뮬레이션을 위한 계산속도가 빠르며, 알고리즘이 단순하며, 자료 구조의 관리가 용이하기 때문에 z-map을 이용한다.



[그림 4.4] OBB Tree를 이용한 홀더의 충돌 검증

하지만 금형 구조부에서는 곡면의 표현보다는 수직벽을 이루고 있는 부분이 많기 때문에 수직벽을 포함한 일반적인 3차원 형상 표현이 어려운 z-map 이론만을 적용하기에는 부족함을 가지고 있다. 따라서 앞에서 설명된 가상 공간에서 사용되고 있는 충돌 검출 알고리즘인 OBB 트리를 적용하면 [그림 4.4]와 같이 금형 구조부 가공에서의 CAM 시스템의 안전성을 높여주는 충돌 검출 알고리즘을 효율적으로 개발할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 블록, 원통, 원추, 구 등의 기본형상으로 이루어진 금형 구조부 형상을 가공할 때 공구의 홀더 부분이 기본형상으로 만들어진 측벽들을 이동할 때 발생하는 충돌 검출방법을 조사하여 CAM시스템의 안전성을 분석하였다. 즉, 기존의 알고리즘들을 자료구조에 따라 계산 시간의 효율성과 정확한 검증을 나타내는 정밀성으로 구분하여 안전성 평가를 시도하였다.

일반적으로 알고 있는 공간간섭은 공구의 날 부분만의 곡률이 가공물의 곡면과 발생하는 현상으로 정의 하였으며, 공구의 홀더부분에 대해서 발생하는 충돌 현상에 대해 기존의 개념을 통해 정리하였다.

Z-map을 이용한 알고리즘은 수직벽이나 꺾인 모서리 등을 검출하지 못하는 단점을 가지고 있지만 boolean 연산 작업을 신속하고 안정되게 수행하여, 시뮬레이션을 위한 계산속도가 빠르고, 알고리즘이 단순하여 자료구조의 관리가 용이하다는 장점 때문에 현재의 CAM 소프트웨어에서의 모의가공을 위한 공구 경로 산출, 충돌검증 등에 널리 사용되고 있다. 공구 이동궤적면을 이용한 연구를 적용하여 공구 충돌을 검출하는 알고리즘은 홀더 부분에서 정확하게 검출한다. 공구보다 부피가 큰 홀더를 모델링하며 충돌 영역을 효율적으로 구분하여 충돌 검출을 해내면 효과적인 CAM 소프트웨어의 큰 발전을 가져온다.

이산적인 벡터 모델을 사용한 모의가공에서는 몇 가지 특수한 공구 형상의 이동 궤적체 모델링에 관해서만 연구 되었다. 따라서, 실제 금형 가공에 쓰이

는 모든 공구 형상을 표현할 수 있는 공구 이동 궤적체의 모델링 방법이 필요하다. 특히, 충돌 확인을 위한 모의가공을 위해서는 밀링 기계의 헤드와 공구 홀더의 이동 궤적체를 모델링할 필요가 있다.

2차원 가공에서는 형상이 복잡해질수록 가공 지시에 대한 착오나 망각이 생긴다. 경사면이 있는 형상에서는 가공 경로의 간섭 체크를 확인할 필요가 있다. 3차원 가공에서는 이상과 같은 문제를 해결하여 처리할 수 있다.

또한 제품의 외관이 자유곡면으로 구성된 형상에 대해서는 3차원 가공으로 3차원 모델의 설계 변경에 대응한 가공 처리 시간의 단축, 공구 및 홀더의 간섭 체크 등과 같은 자동 계산 기능이 향상되고 있으므로 가공하기 전에 이 문제를 해결한 가공 경로로써 수월하게 작업할 수 있다.

안전성 있는 CAM 시스템의 진보에 있어서 공구 충돌 검출 알고리즘의 개발은 큰 영향력을 가지고 있다.

6. 참고 문헌

- [1] Anderson, R. O., "Detecting and eliminating collisions in NC machining," *Computer-Aided Design*, Vol. 10, No. 4, pp. 231-237, 1978.
- [2] Choi, B. K., Lee, C. S., Hwang, J. S. and Jun, C. S., "Compound surface modelling and machining", *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No 3, pp. 127-136, April 1988.
- [3] Chung, Y. C., Park, J. W., Shin, H. Y. and Choi, B. K. "Modeling the surface swept by a generalized cutter for NC verification", *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 8, pp. 587-594, 1998.
- [4] Duncan, J. P., Mair, S. G., "The Anti-Interference Features of Polyhedral Machining", *Advances in Computer-Aided Manufacture*, North-Holland Pub, p p. 181-195, 1997.
- [5] Faux, I. D. et al., "*Computational Geometry for Design & Manufacture*", Ellis Horwood pub, pp. 234-240, 1981.
- [6] Hartquist, E., Menon, J. P. and Sungurtekin, U. A., "Solid modeller based automatic NC verification," *Biennial Int. Machine Tool Technology Conference*, p p. 2-15, Sep. 1998.
- [7] Hook, T. V., "Real time shaded NC milling display," *Computer Graphics*, Vol. 20, No. 4, pp. 15-20, 1986.
- [8] Huang, Y. and Oliver, J. H., "Integrated Simulation, Error Assessment, and

- Tool Path Correction for Five-axis NC Milling", *Algorithmica*, Vol. 4, pp. 331-344, 1989.
- [9] Hwang, J. S., "Interference-free tool path generation in the NC machining of parametric compound surfaces", *Computer-Aided Design* Vol. 59, pp. 667-676, 1992.
- [10] Kondo. k., Kishinami. T. and Saito. K., "Machining System Based on Inverse Offset Method", *Journal of JSPE*, Vol. 54, pp. 971-976, 1988.
- [11] Oliver, J. H., Wysocki, D. A. Goodman, E. D., "Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation", *Journal of Engineering for Industry FE B*, Vol. 115, 1993.
- [12] 강성기, 조시완, 양균의, 고성림, "해석적 복합 곡면 가공에 있어서의 공구간섭방지에 관한 연구", *한국한국정밀공학회지*, 제13권, 제9호, 1996.
- [13] 서준성, "직교투영을 통한 조립 특징형상 인식" *석사학위논문*, 성균관대학교 2000.
- [14] 신양호, 박정환, 정연찬, "DVM 및 Z-Map 복합모델을 이용한 금형의모의가공", *한국정밀공학회지*, 제20권, 제5호, 2003.
- [15] 스즈키 히로시, "최신 CAM 시스템의 기술 동향", *機械와 工具지*, 2월호, 2003.
- [16] 양균의, 박운섭, 이희관, "3차원 자유곡면 가공에 있어서 공구간섭방지에 관한연구", *대한기계학회논문집*, 제19권, 제8호, pp. 1832-1843, 1995.
- [17] 정연찬, "금형가공용 통합 CAM 시스템을 위한 가공데이터의 모의 가공과 검증에 관한 연구," 박사학위논문, 한국과학기술원, 1996.
- [18] 주성욱, 이상현, 박기현, "실시간 3축 NC 밀링 시뮬레이션을 위한 메쉬간략화 방법", *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제5권, 제4호, pp. 347-358, 2000.