

형상인식에 의한 다면체모델의 NC 가공을 위한 소재 및 셋업계획

지우석, 서석환, 강재관

Computer Automated Manufacturing Lab
포항공과대학교 산업공학과

Workpart and Setup Planning for NC Machining of Prismatic Model: Feature-Based Approach

Woo-Suk Jee, Suk-Hwan Suh, Jae-Kwan Kang

Computer Automated Manufacturing Lab
Department of Industrial Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

Abstract

Extracting the process planning information from the CAD data is the key issue in integrated CAD/CAM system. In this paper, we develop algorithms for extracting the shape and setup configuration for NC machining of prismatic parts. In determining the workpart shape, the minimum-enclosing concept is applied so that the material waste is minimized. To minimize the number of setups, feature based algorithm is developed considering the part shape, tool shape, and tool approach direction. The validity and effectiveness of the developed algorithms were tested by computer simulations.

1. 서론

공정계획 (Process Planning)이란 "주어진 파트도면으로부터 최종적인 제품을 만들기까지의 모든 세부적인 작업지시를 준비하는 행위" [1]라 할 수 있다. 최근에는 형상의 설계에서 가공을 일관처리하는 CAD/CAM방식이 개발되고 있지만 공정계획기능이 취약함에 따라 이에 관한 정보를 사용자가 일일이 제공해야 하는 문제점을 안고있다. CAD/CAM 방식에서 공정계획은 형상 및 허용오차를 포함하는 CAD 데이터를 근거로 공정순서 (route sheet)로 일컬어지는 가공데이터를 생성하는 기능으로서, 이후의 NC코드 산출과정 (CAM)의 입력이 되기 때문에 CAD와 CAM을 잇는 교량 역할을 담당한다고 볼 수 있다. 공정계획은 형상이 복잡해짐에 따라 고도의 기술을 요하며, 특히 숙련된 공정계획자의 숫자가 감소하는 현상을 감안할 때, 이의 해결책이 시급하다 [2].

컴퓨터에 의한 공정계획 (CAPP: Computer Aided Process Planning)은 1965년 Neibel에 의해 제안된 이래, 그동안 많은 연구가 이루어졌으나, 아직 현장에 적용되는 사례는 소수에 불과하다 [3]. 이는 공정계획의 복잡성과 다양성에도 기인하지만, 대부분의 CAPP시스템이 CAD와 CAM과의 통합화 관점에서 개발되지 않았기 때문이다. CAD/CAM 통합화의 관점에서 개발된 CAPP시스템으로는 다면체형상에 대한 설계, 가공, 검사의 통합을 도모한 QTC (Quick Turnaround Cell)시스템 [4], 디자인과 공정계획의 통합을 다룬 XMAPP시스템 [5], 회전형상의 통합을 다룬 AIMSI시스템 [6]등을 들 수 있다.

본 논문은 다면체형상의 NC 밀링가공에 있어서 소재형상과 셋업방식의 결정에 관한다. 이들은 다면체의 공정계획에 있어서 결정되어야 할 핵심요소로서, 형상특성, 가공특성, 공구사양 및 공구접근방향의 고려가 요구된다. 본 논문에서 개발된 알고리즘은 QTC [4]의 접근방식과 유사한 점이 있으나, QTC 시스템은 기

본적으로 knowledge-based 시스템이기 때문에 공정계획에 필요한 지식의 획득이 요구되는 반면, 본 논문의 방식에서는 이를 feature의 인식에 의한 알고리즘으로 대처하기 때문에 이의 생략이 가능하다.

또한, QTC시스템에서는 소재계획시 설계자가 데이터베이스로부터 소재를 선택하도록 하고 있으나, 본 논문에서는 가공형상을 포함하는 최소형상을 자동적으로 산출한다. 최소소재형상의 산출을 위해 본 논문에서는 최종형상을 포함하는 minimum-enclosing box를 도출하는 계산의 효율성을 기할 수 있는 기하학적 알고리즘을 제시하였다.

공작물의 셋업은 소재형상으로 부터 최종형상에 정의된 모든 가공부위를 공구가 간섭없이 접근할 수 있는 공작물의 자세를 결정하는 것이다. 이에 관해 참고문헌 [13]에서는 직육면체의 소재를 대상으로 가공면의 visibility를 체크함으로써 공구의 접근가능성을 검증하였다. 그러나 이방식은 공구의 규격 (모양 및 크기)을 고려하지 않기 때문에 가공가능성의 정확도가 떨어질 우려가 있다.

바꾸어 말하면, 정확한 가공가능성을 규명하기 위해서는 공구의 형상 뿐만 아니라 공구의 크기 및 사상이 고려되어야 한다. 이러한 정보는 이후에 수행될 세부공정계획에 바로 적용될 수 있기 때문에 공구특성의 고려는 셋업의 정확도 뿐만 아니라 세부공정계획의 부하를 줄일 수 있는, 나아가서는 공정계획의 자동화를 기하기 위한 접근방식으로 볼 수 있다.

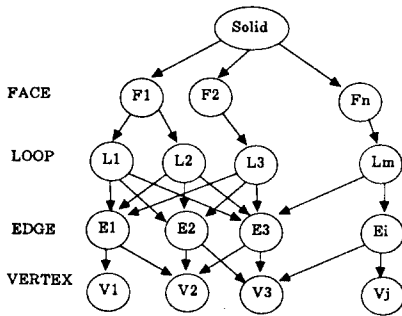
상기의 측면을 감안하여 본 논문에서는 공작물의 셋업을 결정함에 있어서 공구의 특성 (tool feature) 및 가공특성 (machined feature)을 공구데이터 및 CAD 데이터 (BREP 형태)로부터 가공성을 규명하는 방식을 취했다. 구체적으로, 가공특성은 BREP으로 표현된 다면체 모델에서 슬롯 (slot), 스텝 (step), 구멍 (Hole), 포켓 (pocket), 면 (face)의 형태로 추출되며, 공구특성은 end mill, angle mill, dovetail mill, twist drill, center drill의 형태로서 공구화일에서 읽는 형태를 취한다. 이러한 방식으로 설정된 정보는 가공성표 (machinability table)의 형태로 코딩되며, 최소셋업계획은 선형계획법 (LP: Linear Programming)의 해에 의해 결정된다.

연구된 알고리즘의 유효성 및 효율성은 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 검증되었으며, 이의 결과를 통해 연구된 알고리즘 및 접근방식은 소재계획 및 공작물의 셋업계획에는 물론 공정계획의 자동화에 활용될 수 있으리라 판단된다.

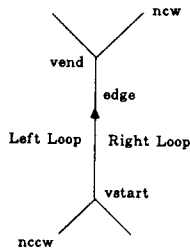
2. 파트형상의 표현 및 데이터구조

다면체형상의 표현은 주로 BREP (Boundary Representation) 과 CSG (Constructive Solid Geometry)의 두가지 방식에 의하며, 본 연구에서는 계산의 정확도와 위상정보의 명료화가 우수한 BREP 방식을 취한다. BREP 방식은 파트형상을 face, loop, edge, vertex의 정보로 표현하며, 이들간의 위상학적 관계는 그림 1(a)와 같다.

BREP으로 표현된 형상을 해석하기 위해서는 각 face, loop, edge, vertex들간의 위상학적 정보를 효율적으로 표현할 수 있는 데이터구조가 필요한데, 본 연구에서는 비교적 적은 기억용량으로 다양한 위상학적 관계를 나타낼 수 있는 winged-edge 데이터구조 [7]를 사용하였다. 형상의 위상학적 정보는 이후에서 다물소재계획, 가공피쳐의 인식, 가공피쳐 파라미터 설정, 공구설정 및 셋업방식 설정에 중요한 역할을 한다. 그림 1(b)는 winged-edge 데이터의 구조를 나타내며, 여기서는 하나의 edge를 중심으로 왼쪽과 오른쪽의 loop, 두개의 vertex, 두개의 인접 edge 정보를 저장한다.



(a) BREP



(b) 데이터 구조

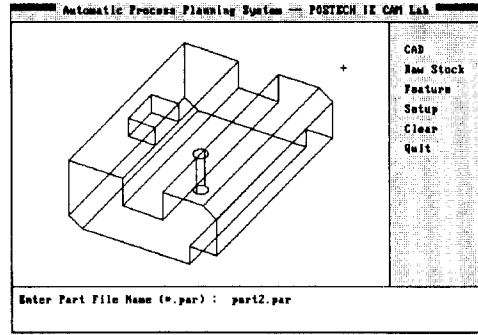
그림 1. 파트 형상의 표현

3. 소재계획

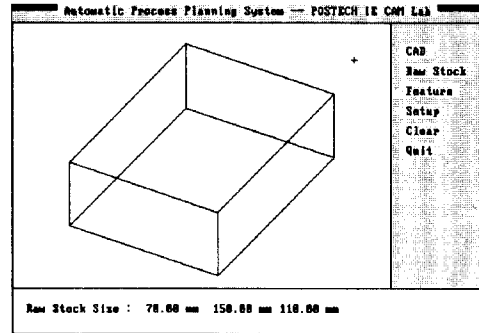
절삭가공은 소재로부터 일정한 부분을 제거해나가는 과정이라 할 수 있다. 소재선택시 가공의 효율을 높이기 위해서는 가공시 제거되는 소재의 양이 최소가 되도록 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 다면체 형상을 포함하는 직육면체 중에서 최소의 부피를 갖는 직육면체 (MEB: minimum enclosing box)를 소재로 선정함으로써, 가공의 효율성을 기하고자 한다.

MEB를 구하는 방법으로는 convex hull을 이용하는 방법과 [8] 좌표축의 회전을 이용하는 방법 [9] 등이 있다. 본 연구에서는: 가) 지정된 vertex에 새로운 좌표축을 설정하고, 나) 설정된 좌표축을 기준으로 모든 vertex들의 좌표값을 변환한 후, 다) 변환된 vertex 좌표값들의 각 축별 최대 최소값을 찾아 형상에

위치는 직육면체를 만드는 3과정에 의한다. 최소부피를 갖는 직육면체는 위의 3과정을 모든 vertex에 적용하고, 이의 최소치로서 MEB가 결정된다. 알고리즘의 적용예가 그림 2에 도시되며, 그림 2(a)의 최종형상을 얻기 위한 최소소재형상은 그림 2(b)와 같다.



(a) 다면체 형상



(b) 선택된 소재 형상

그림 2. 다면체 형상에 따른 소재 선택

4. 가공피쳐의 인식 및 가공파라미터 설정

CAD 데이터로부터 사용자의 개입없이 형상을 인식하는 것은 공정계획의 기능 중 가장 핵심적인 부분이라 할 수 있다. 3차원 입체 모델로부터 가공피쳐 (machined feature) 들을 인식하는 연구는 syntactic pattern recognition 방식 [10], 그래프를 이용한 방법 [11], convex hull을 이용한 방법 [12] 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 winged-edge 데이터구조와 attributed adjacency graph (AAG)개념을 [11] 사용하여 다면체형상의 가공피쳐를 인식하는 알고리즘을 개발하였다. 가공피쳐는 스텝, 슬롯, 포켓, 구멍, 면으로 한정하였으나 필요에 따라 추가될 수 있음을 주기한다.

가공피쳐의 인식이 끝나면 각각의 가공피쳐들을 가공할 셋업 방식과 공구를 설정해야 한다. 이를 위해서는 각 가공피쳐들의 가공에 있어서 의미가 있는 기하학적 정보들 (가공피쳐 파라미터)을 CAD 데이터로부터 추출하는 작업이 선행되어야 한다. 가공피쳐 파라미터들은 공구설정에 있어서 스핀들과의 충돌방지 및 공구직경에 의한 과절삭을 방지하기 위함이다. 이하에서는 각 가공피쳐별 인식방법 및 파라미터 설정방식을 기술한다.

스텝

스텝은 형상의 외곽에 있는 두개의 오목한 face로 구성되는 데 스텝의 인식은 각 edge들을 순차적으로 찾아가면서 edge의 오른쪽과 왼쪽 face의 각도가 90도이고 두개의 face를 구성하는

edge들 중에서 해당 edge를 제외한 다른 edge들의 각도가 180도 이상이면 스텝으로 인식된다. 스텝 파라미터는 스텝을 구성하는 두개의 face에 포함되어 있는 vertex들과 해당 edge와의 거리를 구하여 가장 긴 것을 L1, L2로 정하고, L1과 L2는 공구의 길이를 제한하는 파라미터로 사용된다 (그림 3).

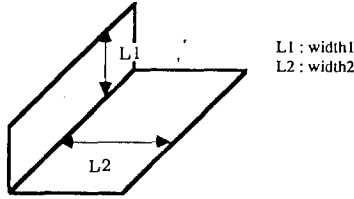


그림 3. 스텝 피쳐와 스텝 파라미터

슬롯

슬롯은 두개의 마주보는 face와 하나의 바닥 face로 구성된다. 인식 알고리즘은 각 face들을 순차적으로 찾아가면서 face에 포함되면서 서로 인접하지 않는 두개의 edge의 양쪽 face의 각도가 180도 이하이면 슬롯으로 인식된다. 그림 4는 슬롯의 단면과 슬롯 파라미터를 나타내는데, L1은 바닥 face를 기준으로해서 두개의 마주보는 face에 포함되어있는 vertex들과의 거리중 가장 큰 것으로 정하고 이는 공구의 길이를 제한하는 파라미터이다. L2는 두개의 마주보는 face의 최단거리로 정하고 이는 공구의 직경을 제한하는 파라미터이다. a1과 a2는 바닥face와 두개의 마주보는 face와의 각도로서 공구의 종류를 결정하는 파라미터인데 a1, a2가 90도인 경우에는 end mill, 45도 혹은 60도인 경우는 dovetail mill을 사용하도록 한다.

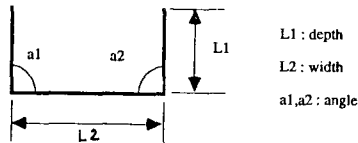
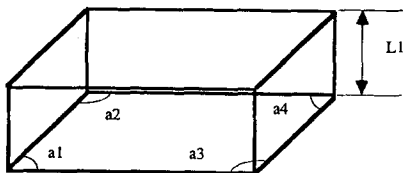


그림 4. 슬롯 피쳐와 슬롯 파라미터

포켓

포켓의 인식은 각 face들을 순차적으로 찾아가면서 face를 구성하는 edge들의 양쪽 face의 각도가 모두 90도이면 인식된다. 그림 5는 포켓의 형상과 파라미터들을 나타내는데 L1은 바닥 face와 다른 face들에 포함된 vertex들과의 거리중 가장 긴 거리로서 정하고 공구의 길이를 제한하는 파라미터이다. a1, a2, a3, a4는 바닥 face를 제외한 face들간의 각도로서 공구의 직경을 제한하는 파라미터이다.



L1: depth
a1, a2, a3, a4: angle

그림 5. 포켓 피쳐와 포켓 파라미터

구멍

구멍은 다른 가공피쳐들의 face 타입이 plane인데 반해 cylinder타입을 갖기 때문에 각 edge들을 순차적으로 찾아가면서 edge의 양쪽 face가 모두 cylinder타입인지의 여부를 확인하여 인식한다. 그림 6은 구멍의 단면을 나타내는데 본 연구에서는 한 face에서 다른 face까지 완전히 구멍을 내는 가공을 가정하였기 때문에 공구의 길이를 제한하는 파라미터인 L은 구멍이 시작하는 face와 끝나는 face와의 거리를 계산하여 가장 긴거리로 하였다. 구멍의 기하학적 표현방식이 두개의 half cylinder의 결합형태로 이루어져있기 때문에, 파라미터 D는 half cylinder의 직선edge사이의 거리를 의미하며, 이는 twist drill의 직경을 결정 하게 된다.

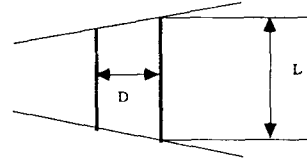


그림 6. 구멍 피쳐와 구멍 파라미터

면

면은 다른 가공피쳐들에 속하지 않는 face들중 MEB와 접하지 않는 face들로 결정된다. MEB와 접하는 face는 가공을 요하지 않기 때문에 여기서 인식되는 면은 가공을 필요로하는 face를 의미한다. 면은 하나의 face로 구성되기 때문에 공구설정시 기하학적인 측면을 고려한 제약이 없어 가공 파라미터의 설정은 생략하였다.

이상의 피쳐결정알고리즘을 적용한 예가 그림 7에 도시된다. 그림 7은 그림 2 (a)의 다면체형상에 대해 포켓, 슬롯, 구멍, 스텝 하나씩과 두개의 면을 인식한 모습을 나타내고 있다.

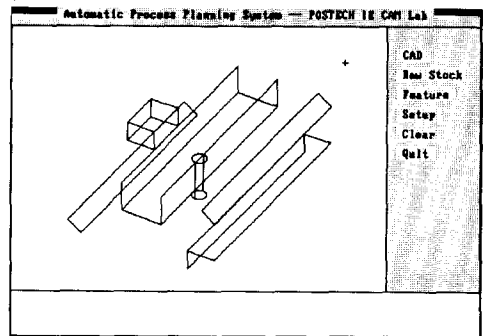


그림 7. 인식된 가공 피쳐들

5. 셋업방식설정

이상에서 소재형상 및 가공피쳐가 결정되면, 공작물의 셋업 결정 과정으로 접어든다. 공작물의 셋업결정은: 가) 초기셋업의 설정, 나) 가공피쳐의 가공성 검증, 다) 가공가능 셋업결정, 라) 공구스펙 결정, 마) 최적셋업 결정의 5단계에 의한다.

초기셋업의 설정

초기셋업방식은 MEB의 각 면의 법선벡터방향을 공구접근방향과 일치시키고 이를 하나의 셋업방식으로 정한다. 따라서 초기셋업방식은 그림 8과 같이 모두 6가지가 된다. MEB를 이용한 초기셋업방식 설정방법은 현장에서 많이 쓰이는 parallel vise를 고정구로 사용시 잡는 면을 용이하게 정해줄 수 있는 장점이 있고, 산업용 기계부품 가공시 다수의 가공피쳐들이 이러한 셋업방식에 의해 가공된다는 점에서 타당성이 부여된다.

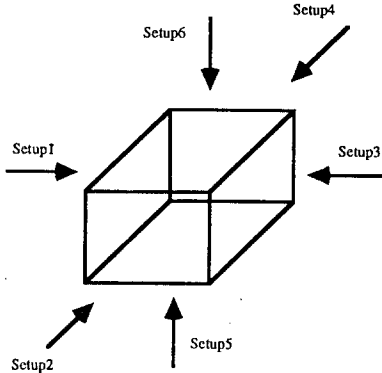


그림 8. 초기 셋업 방식

가공피쳐들의 가공성 검증

셋업방식이 정해지면 각 셋업방식에 대하여 가공피쳐들의 가공 여부를 검증해야한다. 셋업방식에 따른 가공성 여부는 가공피쳐별로 이루어지며, 이 결과는 이후의 최적셋업결정을 위한 주요 정보가 된다.

슬롯은 두개의 옆면과 하나의 바닥면으로 표현되는데 바닥면의 법선벡터방향과 주어진 셋업방식의 공구접근방향이 일치하면 가공가능하다고 판정하게된다. 스텝, 구멍, 포켓등도 슬롯과 마찬가지로 공구접근방향과 주어진 셋업방식에서의 공구접근방향이 일치하는지의 여부를 알아봄으로써 가공성을 판단한다. 그림 9는 각 가공피쳐들에 대한 가공가능한 공구접근방향을 나타낸다.

면의 가공성 검증은 슬롯에서처럼 면의 법선벡터방향과 공구접근방향이 일치여부를 확인하고 일치하지 않을 경우에는 어긋난 각도를 계산하여 45와 60도인 경우에는 가공가능하다고 판정한다(그림 9(e)). 왜냐하면 면의 경우 공구의 접근방향과 면의 법선벡터가 일치하지 않더라도 angle 밀링커터를 사용하여 가공할 수 있고, 일반적으로 많이 쓰이는 angle 밀링커터의 사양이 45도와 60도이기 때문이다(그림 10).

가공가능 셋업방식 설정

초기셋업방식이 정해지고 각 셋업방식에 따른 가공성의 검증이 끝나면 모든 가공피쳐들이 초기셋업방식에 의해 가공될 수 있는지를 검증한다. 만약 초기셋업방식(6가지 셋업방식) 어느것으로도 가공가능하지 않은 가공피쳐가 있을 때에는 해당 가공피쳐를 가공할 수 있는 새로운 셋업방식을 초기셋업방식에 추가한다. 이러한 과정을 모든 가공피쳐들이 가공가능하게 될 때까지 반복하고 초기셋업방식에 새로이 추가된 셋업방식들을 합하여 가공가능 셋업방식을 설정한다.

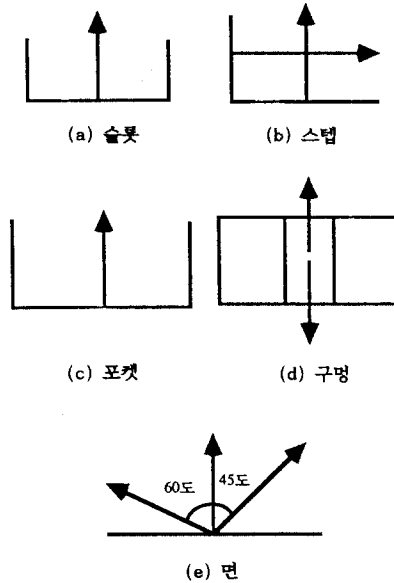


그림 9. 가공피쳐에 따른 가공가능 공구접근방향

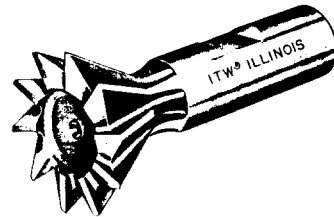


그림 10. angle 밀링커터

공구스펙 결정

가공가능하다고 판단이 된 가공피쳐라할지라도 가공할 수 있는 적절한 공구가 없다면 실제로 가공할 수 없다. 예를들면 슬롯의 경우 슬롯의 폭보다 지름이 작은 end mill이 없다면 실제로 슬롯을 가공할 수 없다. 따라서 가공피쳐들의 최종적인 가공가능성의 검증은 공구데이터베이스와의 인터페이스가 이루어져야 가능하다. 본 논문에서는 공구데이터파일의 정보와 각 가공피쳐 파라미터들을 비교하여 가공가능한 공구들의 집합을 구하고 이 중에서 소재제거율이 가장높은 공구로 공구스펙을 결정하였다. 공구데이터파일은 공구의 형상, 직경, 스핀들로 부터의 거리, 커팅날의 길이와 각도등의 정보로 구성된다.

스텝은 직각을 이루는 두개의 face를 만드는 가공이므로 end mill을 사용하고, end mill의 밑날과 옆날을 사용하여 가공한다. 선택되는 end mill의 스펙은 4절에서 정한 스텝 가공파라미터의 값과 공구데이터파일의 정보를 비교하여 스핀들과 가공피쳐와의 충돌을 방지하면서 공구직경이 가장 큰 것으로 결정한다.

슬롯의 경우, 바닥 face와 마주보는 face와의 각도를 기준으로 하여 90도인 경우에는 end mill을, 45도 혹은 60도인 경우에는 dovetail mill을 사용하고 스텝피쳐와 마찬가지로 스핀들과 가공피쳐와의 충돌을 방지하면서 공구직경이 가장 큰 것으로 결정한다. 단 이때 공구직경은 슬롯의 폭 보다는 작아야 한다.

포켓도 위에서 언급한 스텝, 슬롯과 유사한 기준을 따르지만 공구직경 선정시 복잡한 알고리즘을 필요로 한다. 본 연구에서는 사각형 포켓만을 대상으로 하였고 때문에 두개의 마주보는 face들의 거리중에서 작은 거리가 공구직경을 정하는 기준으로 사용되었다. 구멍은 가공의 특징상 center drill을 이용한 작업이 선행되고 twist drill을 이용한 작업이 이어지는데 4절에서 정한 가공파라미터와 공구데이터파일을 비교하여 구멍직경과 일치하는 twist drill과 구멍직경보다 작은 center drill을 선택한다. 마지막으로, 면은 주어진 셋업방식에 따른 face 법선벡터와의 각도로서 공구스펙을 결정하는데 0도인 경우에는 end mill을 선택하고 45도 혹은 60도인 경우는 angle mill을 선택한다. 이때 공구스펙은 end mill의 경우에는 직경이 가장 큰 것으로 결정하고, angle mill인 경우에는 커팅날의 길이가 가장 큰 것으로 결정함으로써 소재제거율을 높일 수 있다.

최적셋업방식 결정

가공가능 셋업방식이 설정되고 그에따른 가공피쳐들의 공구스펙이 설정되면 가공가능 셋업방식중에서 최적의 셋업방식을 결정해야 한다. 최적셋업방식의 결정은 가공가능 셋업방식과 각 가공피쳐들간의 가공성 유무를 나타내는 가공성표 (machinability table)를 작성하고 이로부터 선형계획기법을 사용하여 셋업횟수가 최소가 되도록하는 셋업방식을 찾아낸다.

예컨대, 그림 11과 같이 한번의 셋업으로 가공이 가능한 형상은 쉽게 셋업방식을 정할 수 있지만 그림 2(a)와 같이 한번의 셋업으로는 가공이 불가능한 형상은 숙련된 작업자가 아닌 경우 셋업횟수가 최소로 되게하는 셋업방식을 찾아내기 어렵다. 셋업횟수의 증가는 가공시간의 증가를 가져오고 이는 생산성을 감소시키는 원인이 된다. 따라서 셋업횟수를 최소로 하는 알고리즘의 개발은 생산성을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 표 1은 그림 2(a)의 다면체형상을 대상으로 작성된 가공성표이다.

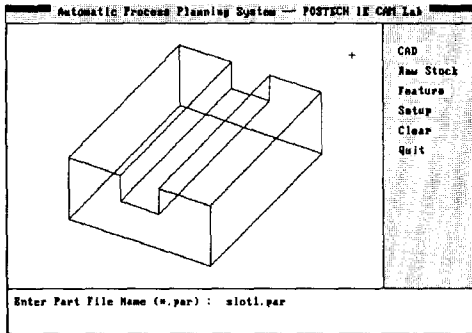


그림 11 한번의 셋업으로 가공이 가능한 형상

표 1. 가공성표 (machinability table)

가공 피쳐	셋업방식					
	1	2	3	4	5	6
step1	0	0	1	0	0	1
slot1	1	0	0	0	0	0
pocket1	1	0	0	0	0	0
hole1	1	0	1	0	0	0
face1	1	0	0	0	0	1
face2	0	0	1	0	0	0

가공성표가 작성되면 최적셋업은 다음의 선형계획 (LP: Linear Programming) 문제의 해를 구함으로써 구할 수 있다. 엄밀히 말하면 셋업변수를 나타내는 X_i 가 정수이기 때문에 정수계획 (Integer Programming) 문제로 수식화가 되어야 하나, 대부분의 경우 LP 해로서 근사치를 구할 수 있음을 주지한다.

$$\text{Minimize } \sum X_i$$

$$\text{s.t. } A_{ij} X_i \geq 1, \text{ for } i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$X_i = 0 \text{ or } 1.$$

여기서, X_i 는 셋업방식 i 의 채택여부를 결정하는 변수 (0 or 1) 이고, A_{ij} 는 가공피쳐 j 에대한 셋업방식 i 의 가공가능여부 (0 or 1)이며 (가공성표에 의해 결정됨), M 과 N 은 각각 가공가능 셋업방식의 수와 가공피쳐들의 수를 나타낸다.

표2와 표3은 그림 2(a)의 다면체형상의 LP 모델과 최적해를 나타낸다. 표 3의 결과로부터 최소셋업횟수는 2회임을 알 수 있으며 셋업방식 1에 의해 가공피쳐 slot1, pocket1, hole1, face1을 가공하고 셋업방식 3에 의해 가공피쳐 step1, hole1, face2를 가공해야 함을 알 수 있다. 그림 12는 그래픽으로 나타낸 최적셋업방식과 가공피쳐이다.

표 2. LP 모델링

```

MIN      X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6
SUBJECT TO
2)      X3 + X6 >= 1
3)      X1 >= 1
4)      X1 + X3 >= 1
5)      X1 + X6 >= 1
6)      X3 >= 1
END
  
```

표 3. 최적해

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.00000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.000000	.000000
X2	.000000	1.000000
X3	1.000000	.000000
X4	.000000	1.000000
X5	.000000	1.000000
X6	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	.000000	-1.000000
3)	.000000	-1.000000
4)	1.000000	.000000
5)	.000000	.000000
6)	.000000	.000000

7. 결론

본 연구에서는 BERP (Boundary Representation)으로 표현된 다면체형상의 CAD 데이터로부터 밀링가공에 있어서 의미가 있는 가공피쳐 (machined feature)들을 찾아내고, 가공피쳐들의 가공성검증을 통한 최적의 셋업방식결정 알고리즘을 제시하였다. 가공피쳐들의 가공성검증은 형상의 기하학적 가공성여부와 절삭가능한 공구스펙의 유무를 동시에 알아봄으로써 CAM과의 원활한 통

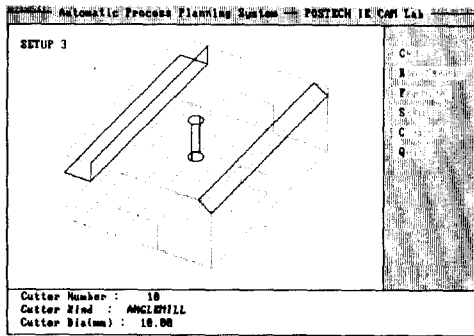
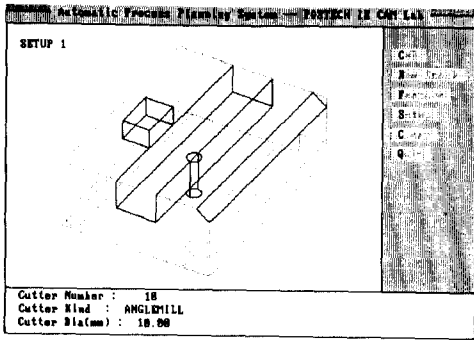


그림 12 최적 셋업 방식과 가공피쳐들

합을 도모하였다. 공구스펙의 결정은 가공성검증뿐만 아니라 NC 가공에 있어서 작업자가 가공피쳐별로 일일이 공구를 지정해주는 과정을 없앴으로써 보다 효율적인 NC가공을 도모한다. 최적의 셋업방식은 MEB를 이용한 초기셋업방식에서 가공성검증을 거쳐 가공가능셋업방식을 설정한다음 선형계획기법을 이용하여 셋업횟수가 최소가 되는 셋업방식으로 정하였다. 셋업횟수의 최소화는 가공시간의 많은 부분이 셋업을 변경하는데 소모되는 점을 감안할 때 전체 생산성을 높이는 데 기여할 수 있다.

본 연구는 다면체가공의 공정계획 (Process Planning) 자동화의 일환으로써 수행되었는데 공정계획의 주요기능이라 할 수 있는 가공순서의 결정에 관한 연구와 공구이송속도 및 절삭속도의 결정에관한 연구는 향후 과제로 남아있다. 또한 인식할 수 있는 가공피쳐들이 제한되어 있기 때문에 복잡한 형상을 처리하기 위해서는 인식할 수 있는 가공피쳐의 영역을 넓히는 연구가 이루어져야 한다.

참고 문헌

[1] T.C. Chang, Expert Process Planning for Manufacturing, Addison- Wesley Publishing Company, 1990.
 [2] 서석환, 지우석, 강재관, 지능형 CAD/CAM시스템의 구축을 위한 기하형상의 가공성에 관한 연구, RIST과제 보고서, 1992.
 [3] L. Alting, H. Zhang, "Computer Aided Process Planning: the state-of-art survey", Int. J. Prod. Res., 1989, Vol 27, No 4, pp 553-585.
 [4] T.C. Chang, et al, "QTC-an integrated design/manufacturing/inspection system for prismatic parts", Proceedings of the 1988 ASME Computers in Engineering Conference, Sanfrancisco, USA, 1-4 August.
 [5] M. Inui., et al, "Extending process planning capabilities with dynamic manipulation of product models", 19th CIRP International Seminar on Manufacturing System, Penn. State, USA, 1-2 June.

[6] H.P. Whang and R.A. Wysk, "AIMS1: a prelude to a new generation of integrated CAD/CAM systems", Int. J. Prod. Res., 1988, Vol 26, No 1, pp 119-131.
 [7] M. Mantyla, An Introduction to SOLID MODELING, Computer Science Press, 1988.
 [8] C.J. Su, "An Enclosing Object Based Automatic NC Code Generation System", Ph D Thesis, Texas A&M University, 1989.
 [9] R.R. Martin and P.C. Stephenson, "Putting Objects into boxes", Computer Aided Design, Vol 20, No 5, 1988, pp 506-514.
 [10] B.K.Choi, M.M. Barash and D.C. Anderson, "Automatic Recognition of machined surface from a 3D solid model", Computer Aide Design, Vol 16, No 2, 1984, pp 81-86.
 [11] S. Joshi and T.C. Chang, "Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model", Computer Aided Design, Vol 20, No 2, 1988, pp 58-66.
 [12] J.C.E. Ferreira and S. Hinduja, "Convex hull-based feature recognition method for 2.5D components", Computer Aided Design, Vol22, No 1, 1990, pp 41-49.
 [13] C.J. Su and A. Mukerjee, "Automated Machinability Checking for CAD/CAM", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol 7, No 5, 1991.