

금형 가공용 지식기반 CAM 시스템의 개발에 관한 연구 (1) -특징 형상 모델링 및 지식 베이스화에 관하여-

김 희 중* · 정 재 현**

A Study on the Development of Knowledge-based Computer Aided Manufacturing System for Mold Manufacturing (1) -On the modelling of feature based model and database processing with knowledge-

H. J. Kim · J. H. Jeong

Key words : CAM (컴퓨터 지원 가공), Knowledge base (지식 기반), Expert system (전문가 시스템), Feature based model (특징 형상)

Abstract

This paper presents the development of an interactive knowledge-based CAM system for designing and manufacturing the mold. The system is composed of two functional parts. One is the geometric modeller that uses the feature-based models. The models include base plate, step, hole, pocket, boss and slot. These are designed by interactive user interface. The other is the expert system module with inference engine and knowledge database of workpiece material, tools, manufacturing machines, process and working conditions. With two parts the final mold shape is generated with manufacturing information for effective production.

1. 서 론

현재 국내 중소 금형 업체는 심각한 인력부족의 해소와 생산성의 향상을 위해 CAD/CAM 시스템의 도입을 진행 중이다. 그러나 금형 생산에서의 경

험적 지식 부족과 CNC 운용 능력 및 공구 선정 기술의 부족 등으로 도입한 시스템의 효과적 운용에 많은 문제가 있다. 또한 제품의 설계와 생산 단계 간의 효율적인 정보 교환이 제대로 되지 않는 경우도 많다¹⁾.

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과(원교집수일 : 99년 4월)

** 한국해양대학교 기계공학부

때문에 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 CAD/CAM 시스템의 지능화를 통한 지식의 축적과 그 활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.²⁾ 현재 연구의 동향은 주로 가공 및 공정 설계 자동화, 가공 공정의 고정도·고능률화, 설계 및 가공의 지능화 등으로 이루어지고 있다^{3) 6)}.

본 논문에서는 금형의 설계 및 가공 공정의 자동화를 지식공학적 접근 방법으로 시도하였다. 기존 CAD/CAM 운용의 미비점을 보충하기 위해 기능 인력의 숙련된 경험적 지식을 자료로 하여 전문가들이 해당 사항에 실제적으로 대처하는 과정을 프로그래밍화하였다. 금형 제작은 많은 현장 경험이 필요한 분야이므로 경험적 지식의 논리적 데이터베이스화로 금형 형상의 설계, 검증 및 가공 그리고 평가 과정을 수행할 필요가 있다. 따라서 상기의 과정을 바탕으로 구축한 지식 기반 전문가 시스템은 금형 생산의 비전문가가 효율적으로 금형 생산 작업을 수행할 수 있도록 하는데 그 최종목표를 두었다. 전체적인 CAD/CAM 시스템의 구축에서 이번 연구에서는 지식베이스의 기반이 되는 가공 형상의 특징 형상화와 구축된 시스템의 운용 구조에 대한 세부 사항을 고찰한다.

첫 번째, 사용자가 원하는 금형 형상을 특징 형상으로 모델링하는 방법을 이용하였다. 금형의 각 형상을 특징 형상으로 미리 정의한 후, 대화식 작업을 통하여 각 특징 형상을 생성 및 합성하여 최종 형상을 정의한다.

두 번째, 이러한 특징 형상의 모델링을 대화식으로 처리할 수 있는 작업 시스템을 구축한다. 시스템은 윈도우 환경에서 대화형 인터페이스로 구현한다.

2. 특징 형상 모델링

컴퓨터를 이용한 작업에서 단순히 반복적인 계산의 수행은 탁월한 성능을 보이나 경험적인 판단 및 의사 결정과 같은 일은 아직 초보적인 단계라 볼 수 있다. 금형 생산에서의 이러한 전문가적인 판단을 컴퓨터 프로그램으로 처리하는 것은 상당히 까다로우므로, 또한 금형 형상의 설계와 가공 데이터가 동일한 정보를 공유해야 할 필요가 있다.

때문에 형상 설계에서부터 가공을 위한 공정을 고려하는 방법을 도입하였다.

특징 형상을 이용한 연구는 주로 솔리드 모델(solid model)의 경계정보로부터 특징 형상을 획득하는 방법이 주류였으나, 이러한 방법은 3차원 형상에의 적용이 매우 어려운 단점을 가지고 있기 때문에 최근에는 초기 모델링 단계에서 특징 형상을 입력하는 특징 형상 기반 모델링을 많이 응용하고 있다.⁷⁾ 특징 형상 기반 모델링이란 가공형상을 모델링할 때 입력 형상을 설계자나 제작자에게 익숙한 단위 형상으로 이용하는 방법이다. 특징 형상 모델링의 장점은 모델링된 형상이 가공 대상으로서의 특징도 유지할 수 있다는 것이다. 즉, 가공 정보를 가지고서 설계 단계에서 기하 형상을 구성한다면 가공 작업에서의 사용 공구 등의 선택을 쉽게 처리할 수 있게 된다.

특징 형상은 일반적인 불리언 작업(boolean operation)에 의한 형상 정의가 아니라, 미리 정의된 특징 형상과 이에 관련된 매개변수를 사용자가 지정함으로써 형상을 정의한다. 기존 수학적 표현에만 치중된 기하형상은 설계자의 의도를 그대로 가공 현장에 전달하기 어렵고 또한 형상으로부터 가공 조건을 도출하기도 어렵다. 특징 형상은 형상의 가공 치수 중심으로, 제조 공정에서 이용되는 단위로서 설계를 수행하므로 설계자의 의도를 전달할 수 있으며 가공 정보도 함께 생성이 가능하다.

예를 들어 특징 형상으로서 기하학적인 구멍을 설계하면 가공 공정에서는 이러한 형상의 가공 작업에 드릴링 처리를 수행해야 한다는 사실을 알 수 있게 된다. 그러나 이러한 특징 형상 기반 모델링 만으로는 모든 형상을 표현할 수 없기 때문에 앞서 열거한 불리언 작업도 시스템에 포함된다.

본 연구에서는 특징 형상을 이용하여 가공형상을 정형화하고, 각 특징 형상에 따라 가공방법을 수립하고 적용하는 단계에서 전문가 시스템을 구축한다. 즉, 특징 형상 개념과 전문가 시스템 프로그래밍 방식을 이용하여 기하 모델을 가공 형상과 일치시키므로써 단순한 도형 데이터의 전달이 아닌 설계자의 의도와 가공 정보를 동시에 전달하여 설계 및 가공 과정의 통합 처리를 구축한다.

3. 지식 기반 전문가 시스템

본 연구에서 사용하기로 한 지식기반 전문가 시스템은 해당 분야 전문가들의 문제 해결 방법을 논리적으로 체계화하여, 가능한 유사한 결론을 낼 수 있도록 하는 방법으로, 경험적 지식이 많이 요구되는 금형 가공 분야에 매우 유용하게 적용될 수 있다. 또한 이러한 과정은 대화형 인터페이스를 통하여 다양한 선택 사양에 대하여 최적의 결론을 도출하도록 했다.

3.1 전문가 시스템의 구조 및 기능

1) 지식 베이스 모듈

전문가 시스템을 구현한 프로그램으로 사용자와 컴퓨터간의 대화형 인터페이스를 통하여 인공 지능적 처리 과정을 거쳐 결론을 생성한다. 이러한 시스템은 경험적 지식의 확인과 데이터베이스화가 용이하며, 분리된 추론 엔진 (inference engine)을 이용하여 추가된 지식의 활용도 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서의 지식 베이스 모듈은 데이터를 나타내는 사실 (fact)과 사실을 의사 결정의 자료로 사용하는 규칙 (rule)으로 구성된다.

사실은 추론하는 동안 추가 및 삭제가 가능한 단기적 정보로서 가공 데이터와 형상에 대한 정보를 나타낸다. 규칙은 결론을 내기 위한 장기적 정보로서 사실을 이용한 법칙이다. 이러한 사실과 규칙을 이용하는 여러 방법 중에서, 본 연구에서는 생성 규칙(production rule)을 이용하였다. 전문가 시스템에서의 생성 규칙은 주로 IF <조건> THEN <실행>의 형식으로 구성된다. Fig. 1은 생성 규칙을 이용한 본 연구의 지식표현 과정을 나타낸다.

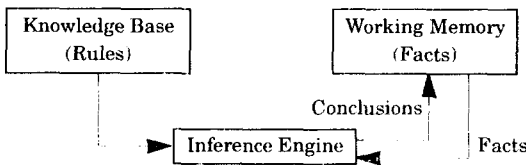


Fig. 1 Knowledge expression with production rule

2) 추론 엔진 모듈

추론을 관리하는 부분과 제어를 관리하는 부분으로 구성된 추론 엔진 모듈은 전문가 시스템의 핵심적 요소이다. 추론 부분은 새로운 지식의 추론을 위한 규칙 적용을 결정하는 기능을 하며, 제어 부분은 실질적인 제어를 담당한다. 본 연구에서 추론 부분에서는 연역 추론 (deductive inference)을, 제어 부분에서는 전향 추론 (forward chaining inference)을 사용하였다. Fig. 2는 연역 추론의 표현을 나타내며, Fig. 3은 추론 엔진과 지식 획득 (knowledge aquisition)간의 관계를 나타낸다.

3) 지식 획득 모듈

Fig. 4와 같이 전문가 이론, 서적, 참고 데이터베이스 및 경험 등으로부터 가공에 이용할 전문적 지식을 습득하고 관리하도록 구성된 모듈이다.

이상과 같은 모듈 이외에 사용자에게 추가로 필요한 정보를 제공하는 설명 모듈 그리고 사용자와 데이터베이스에 대한 각각의 인터페이스 모듈이

Deductive inference

Fact				W1
:				
Rule	IF	W1	Then	W2
:				
New Fact :				W2

Fig. 2 General form of deductive inference

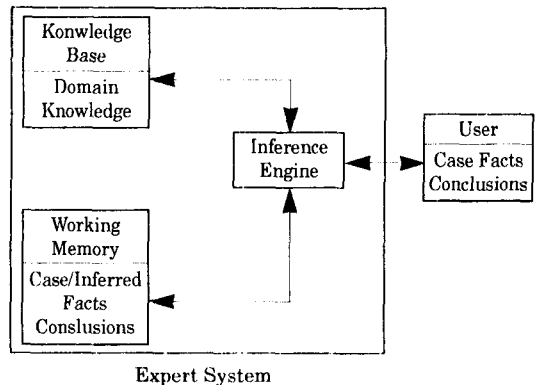


Fig. 3 Knowledge expression with production rule

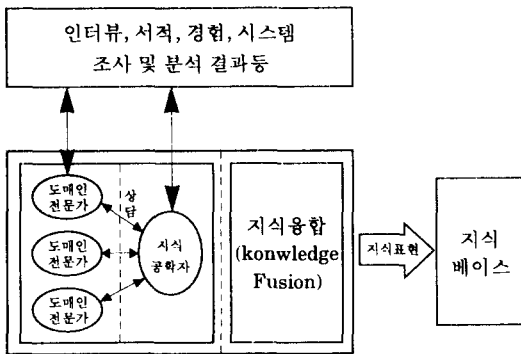


Fig. 4 Concept diagram of knowledge acquisition process

포함되었다.

3.2 지식의 구성과 표현

본 연구에서 지식은 금형 가공에 있어서 필요한 기본 규칙 및 이론을 바탕으로 현상을 설명하는 이론적 지식과 가공 경험 및 실험 등에 의한 경험적 지식으로 구분한다.

공학분야에서의 지식은 대개 정적 (static) 및 동적 (active)인 것으로 구분된다. 정적인 지식은 물리 체계의 기하 형상이나 재료의 고유 성질 및 물리적 조건 등과 같이 사실로서 표현되며, 동적인 것은 문제 해결의 과정에 대한 지식으로 설계 및 해석 등의 방법에 대한 것이다. 문제의 처리 과정이 확실한 경우, 동적인 지식은 이론을 근거로 한 알고리즘에 의존하나, 그렇지 않은 경우는 주로 경험적 정보를 주로 이용한다. 때문에 동적인 지식은 문제의 유형에 따라 변하게 된다. 공학적이며 체계화된 표현은 알고리즘에 의한 질차식 표현이 이용하고 경험적 지식은 규칙의 형태를 이용했다.

규칙은 조건부 (condition)와 수행부 (action)로 구성된다. 조건부는 정적 지식베이스에서 사실에 대한 비교로 구성되어 사실에 대한 참으로 수행부가 실행되며, 수행부에 의해 사실이 추가되거나 삭제되기도 한다. 이러한 과정은 앞서의 추론 기관에 의해 이루어지게 된다.

추론 기관에 의한 전향추론은 정적 지식베이스와 동적 지식으로부터 현재 사실을 바탕으로 적용 가능한 규칙을 차례로 검토하여 조건부에 만족하

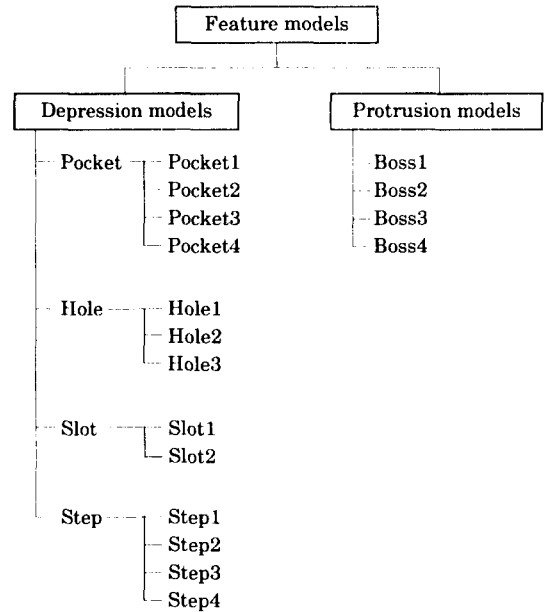


Fig. 5 Features Hierarchy

는 규칙을 선정한 후, 이 중에서 일정 규정으로 적용시킬 규칙을 선택하고 이를 적용시켜 정적 지식 베이스의 사실을 변화시켜 나가는 과정을 사용자의 원하는 목표치까지 반복하도록 된다.

이상에서 경험 등에 의존하는 동적 지식은 규칙의 형태로, 방정식과 같은 지식은 알고리즘에 의한 순차 표현의 이중구조를 적용하였다.

4. 특징 형상 모델러 구축

본 연구에서는 금형 가공에 있어 가공 빈도가 높은 구멍 (hole), 포켓 (pocket), 스텝 (step), 슬롯 (slot) 및 보스 (boss) 형상을 특징 형상으로 정의, 분류하고, 기하 모델의 생성 과정에 특징 형상의 종류와 치수를 그래픽 사용자 인터페이스를 통하여 입력하므로써 금형 형상을 생성하게 된다. 이 과정에서 가공 공정의 자동 생성에 의한 공정 설계에 주목하여 형상에 적합한 가공법, 작업 환경에 적합한 공구 선정 및 금형 정밀도에 영향을 미치는 여러 요소를 고려하였다. Fig. 5는 구성한 모델링 시스템의 구성도를 나타낸다.

4. 1 특징 형상의 분류

본 연구에서는 특징 형상을 프레스 금형 부품으로 한정하고, 밀링 (milling), 드릴링 (drilling), 보링 (boring)과 같은 절삭 가공 작업 대상을 정의 및 분류하였다. 특징 형상은 크게 Depression 형상과 Protrusion 형상으로 구분하였다. Depression 형상은 소재의 불필요한 부분을 삭제하므로써 생성되는 형상이며, Protrusion 형상은 주변 소재의 제거로 남게되는 돌출 형상을 말한다. 각 기하 형상의 특징 형상은 정의된 기하 데이터의 특성과 작업의 종류 및 공구 등을 고려하여 단위 형상으로 정의하고 분류하였으며, 사용자가 직접 특징 형상의 치수를 대화식으로 입력할 수 있게 하였다.

1) Depression 형상

Depression 형상은 포켓, 슬롯, 스텝 및 구멍으로 한정하고 다시 세부 형상으로 분류하여 사용 공구에 따라 단위 특징 형상으로 구분하였다. 포켓은 기본 원형, 사각형 형상에 대한 기본형과 경사형으로, 슬롯은 관통형과 막힘형으로 분류하였다. 그리고 스텝은 직각 스텝과 경사 스텝으로, 다시 관통형과 막힘형 (blind)으로 분류하였다. 구멍은 관통형, 막힘형, 카운트보어 (counterbore)형으로 구분하였다.

Fig. 6 (a)은 관통 슬롯, (b)는 막힘 슬롯을 나타낸다. S는 가공 시작점, E는 가공 종료점이다. 각 가공 방향은 -z축 방향이다. Fig. 7 (a)는 일반적인 사각 포켓 형상을, (b)는 경사 사각 포켓 형상을 나타낸다. w는 y축 방향 길이를 표시하며 라운딩

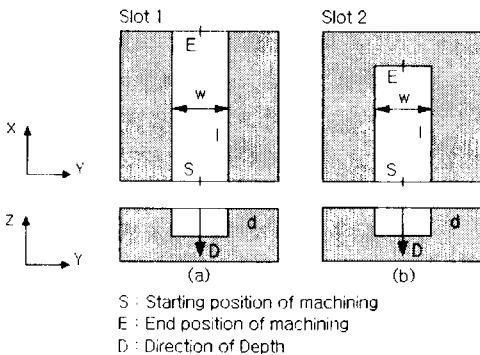


Fig. 6 Slots

반경은 동일하게 정의하였다. Fig. 8 (a)는 원형 포켓 형상을 (b)는 경사 원형 포켓 형상을 나타낸다. Fig. 9의 구멍은 각각 (a)는 막힘형, (b)는 관통형

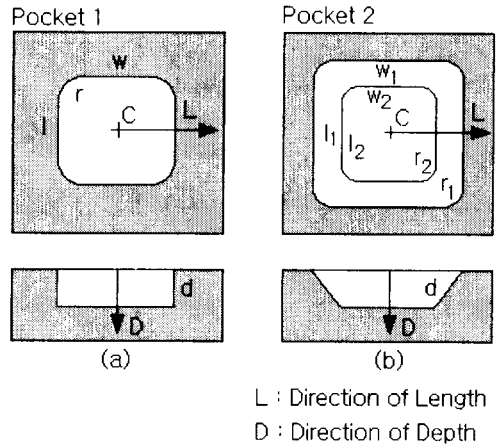


Fig. 7 Square Pocket

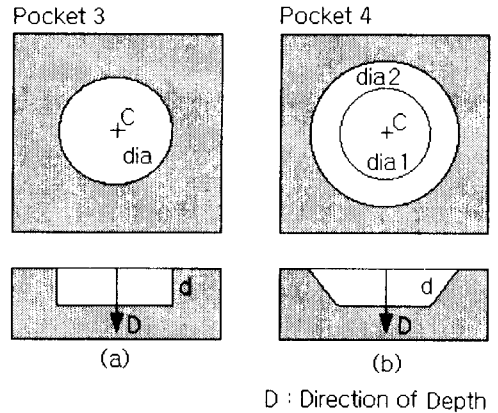


Fig. 8 Cylinder Pocket

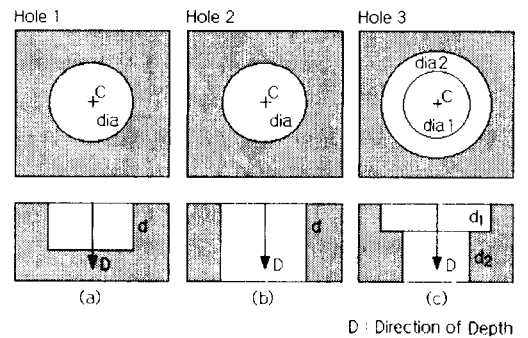


Fig. 9 Holes

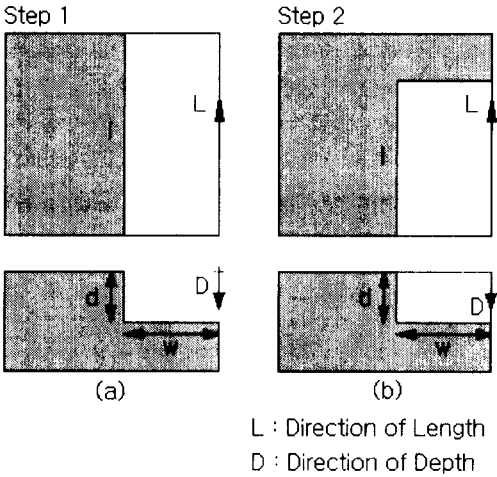


Fig. 10 Angled steps

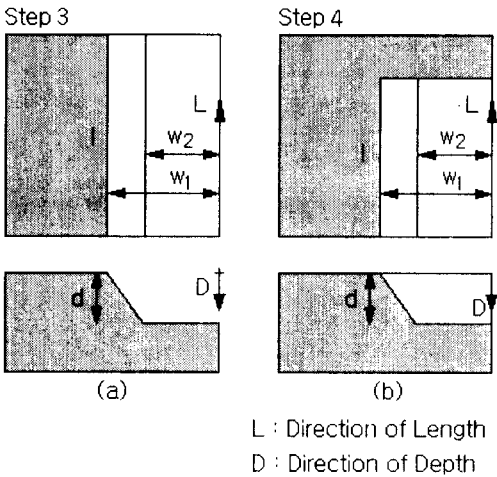


Fig. 11 Tapered Steps

그리고 (c)는 카운터보어형을 나타낸다. Fig. 10은 직각 스텝으로 (a)는 관통형, (b)는 막힘형이다. Fig. 11은 경사 스텝으로 (a) 관통형과 (b) 막힘형으로 구분된다.

2) Protrusion 형상

보스, 리브(rib), 아일랜드(island) 등과 같은 형상이 포함되나, 본 연구에서는 보스의 경우만을 다루었다. 기본 형상을 원형과 사각형으로 구분하고 다시 일반형과 경사형으로 구분하였다. 일반적으로 보스형상의 절삭가공은 절삭 후 남은 부분이 특징 형상이 되며 두 개의 특징 형상의 용접으로 발

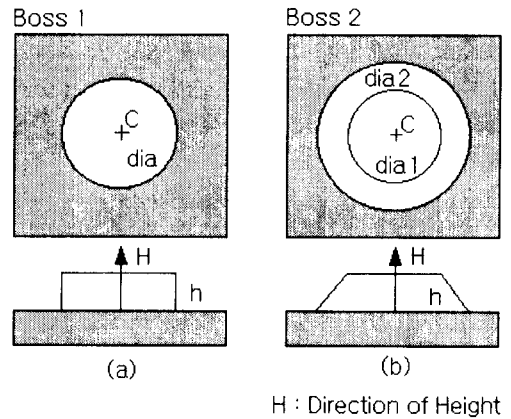


Fig. 12 Cylinder Boss

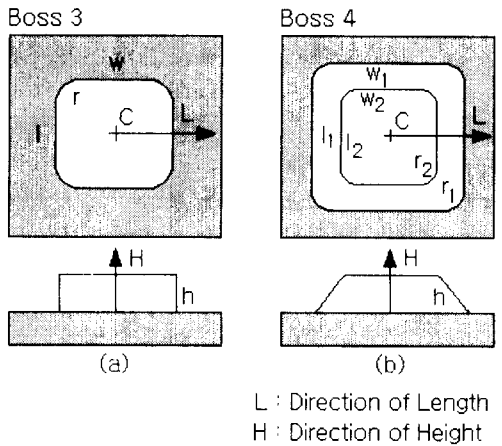


Fig. 13 Square Boss

생하는 경우도 있으므로 좌표계는 공구의 가공 방향과 반대로 설정하였다.

Fig. 12는 원형 보스 형상으로 (a)는 일반형, (b)는 경사형이다. Fig. 13의 사각 보스 형상도 동일한 형태로 분류하였다.

4.2 특징 형상의 구속과 위치 결정

형상 구속 조건은 모서리의 정렬이나 면의 정렬 그리고 형상 요소간의 치수 조건 등을 포함하고 있다. 이러한 형상 구속 조건의 이용은 CAD 시스템 내에서 설계, 조립체 생성 및 자유도에 의한 기구 설계 등에 적용된다. 형상의 위치를 결정하기 위해 사용되는 구속조건은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 특징 형상의 내재 구속 조건

특징 형상의 위치에 관계없이 반드시 유지되어야 할 기본 조건으로 각 특징 형상의 자료구조속에 포함된다. 다른 구속 조건과의 비교에서 우선 순위를 가진다.

2) 사용자 정의 구속 조건

내재 구속 조건에 더하여 사용자가 추가적으로 지정하는 조건이다.

3) 초기 치수 구속 조건

특징 형상의 현재 크기를 표현하는 조건으로 각 특징형상의 자료구조 내부에 포함된다. 이 구속 조건은 사용자 정의의 구속 조건에 위배되면 버려지게 된다.

본 연구에서는 내재 구속 조건을 기본으로 정의하고, 사용자가 정의한 특징 형상의 치수를 바탕으로 형상간의 관계를 정의하였다. 특징 형상의 크기와 위치를 정하는 구속 조건식은 특징점들의 좌표값에 대한 함수로 표현하였다.

이상과 같이 정의된 특징 형상들을 결합하여 사용자가 원하는 복합 특징 형상을 만들기 위해, 형상 모델링 단계에서 피삭재 원형을 먼저 정의하도록 하고, 가공 빈도가 높은 스텝, 구멍, 포켓, 보스, 슬롯 순으로 형상을 정의하도록 구성하였다. 피삭재 정의 후 스텝 가공 등으로 형상이 변형되면 변경된 형상 데이터를 가지고 특징 형상을 정의되도록 하였다.

록 하였다. 그리고 최종 형상 정의와 가공 우선 순위가 결정된 후 각 특징 형상의 가공 방법에 대하여 고려하였다. 특징 형상들은 적절한 가공 방법을 포함하고 있으므로 임의의 특징 형상들로 구성된 최

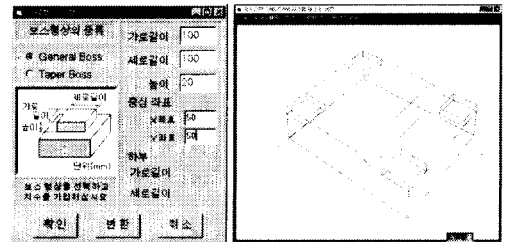


Fig. 16 Boss generating process

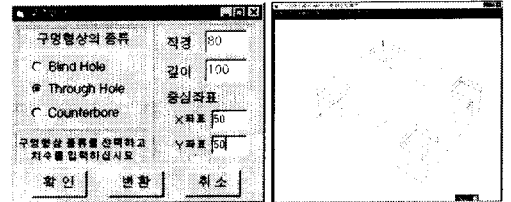


Fig. 17 Hole generating process

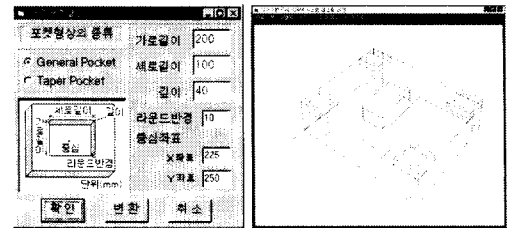


Fig. 18 Pocket generating process

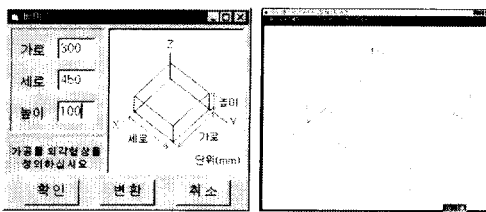


Fig. 14 Base feature generating process

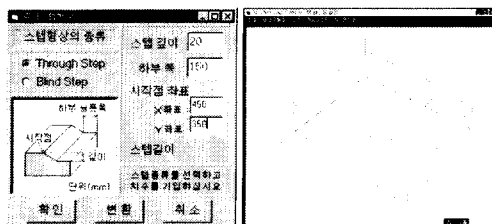


Fig. 15 Step generating process

특징형상	Boss	Pocket	Bling Hole	Thru Hole
공정	Milling	Milling Drilling	Drilling/Boring Reaming/EDM	Drilling/Boring Reaming
사용기계	Milling/Mc Shaper Planer	Driling/Mc Milling/Mc	Drilling/Mc	Drilling MC
공구	Milling cutter	Drill/Milling cutter	Drill/Bore/ EDM tool Reamer/Mill	Drill/Bore/ EDM tool Reamer/End Mill

Blind Slot	Thru Slot	Bind Step	Thru Steop	Base Plete
Milling EDM	Milling	Milling EDM	Milling	Milling Grinding
Milling/Mc Shaper Planer	Milling/Mc Shaper Planer	Milling/Mc Shaper Planer	Milling/Mc Shaper Planer	Milling/Mc Grinder
Milling cutter	Milling cutter	Milling cutter EDM tool	Milling cutter	Milling cutter Grinding wheel

Fig. 19 Processes, machines and tools for features

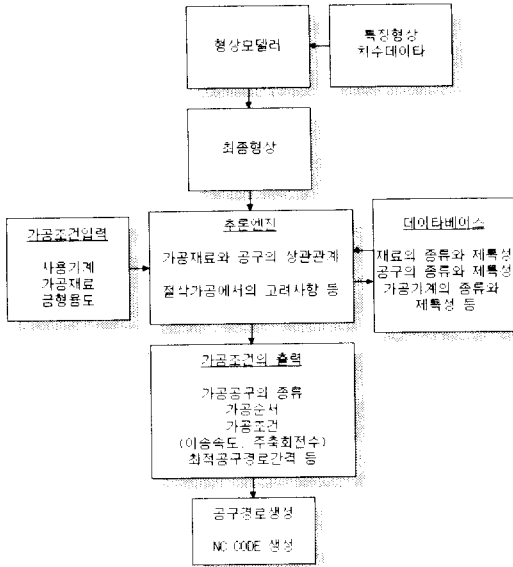


Fig. 20 Composition diagram of knowledge based CAM system

종 형상이 주어지면 각 특징 형상이 가지는 가공 방법에 대응하여 가공기기, 공구 및 절삭 조건 등을 선정하게 하였다. Fig. 14~18은 각 특징 형상의 입력을 위한 인터페이스의 구성과 실행 결과를 보인다. Fig. 19는 각 특징 형상의 가공에 적합한 공정과 가공기기 그리고 공구를 나타낸다. Fig. 20은 본 연구에서 개발한 CAM 시스템의 전체 구성도를 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 금형 설계 및 가공의 비숙련자가 작업에 쉽게 적용이 가능한 CAM 시스템의 구축을 목적으로, 그 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 형상의 설계와 가공의 과정에서 설계자의 의도가 가능한 유지될 수 있도록 특징 형상을 사용하였다.

2) 형상 모델러에서는 금형의 구성에서 지식 베이스에 의한 전문가 시스템을 적용하므로써, 사용자는 실제 형상에 가공을 위한 정보를 함께 지장할 수 있도록 하였다.

3) 금형 가공을 위한 지식베이스는 가공 작업에 필요한 재료, 가공기기, 공구 및 작업 조건 등의 데이터를 포함하고, 사용자를 이를 이용한 전문가 시스템으로 실제 작업의 공정 계획을 적절히 수립할 수 있다.

참고문헌

1. 정재현, "부산 경남지역 금형가공업체 현황 조사", 정밀정형 및 금형가공 연구센터 한-일 워크샵, pp. 100~104, 1994.
2. C. N. Chu, et al., "Knowledge-based Design Aid for Axisymmetric Casting Parts", The 3rd Int'l Conf. on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future, 1988
3. R. Gadh, et al., "Knowledge Driven Manufacturability Analysis from Feature-based Representations", ASME WAM, San Francisco, Dec., 1989
4. S. G. Kim, "Knowledge-based Synthesis System for Injection Molding", Ph.D. Thesis, MIT, 1985. 松村 隆, "最適切削條件選定用エキスパートシステムの開発に 關する 研究(第2報)", JSPE, Vol. 6, pp. 121~127, 1991
6. 佐佐木哲夫 外, "金型磨き作業の知識獲得と自動化に 關する 研究(第2報)", JSPE, Vol. 12, pp. 71~76, 1991
7. "가공자동화를 위한 특징형상인식", 프레스 기술, pp. 35~55, 1995

저 자 소 개



김희중(金熙中)

1969년 1월 19일생. 1992년 한국해양대학교 기계공학과 졸업. 1994년 동대학교 대학원 졸업(석사). 현재 동대학원 박사과정



정재현(鄭在鉉)

1954년 7월 4일생. 1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1980년 동대학교 대학원 졸업(석사). 1987년 일본 북해도대학 졸업(박사). 현재 한국해양대학교 기계공학부 교수