

〈論 文〉

# 사출 금형의 CAD/CAPP 통합을 위한 가공 형상 데이터 베이스

노형민\* · 이진환\*\*

(1991년 9월 19일 접수)

## Machining Feature Database for CAD/CAPP Integration in Mold Die Manufacturing

Hyung-Min Rho and Jin Whan Lee

**Key Words :** CAD/CAPP Integration(CAD/CAPP 통합), Functional Feature(기능 형상), Atomic Feature(기본 형상), Topology(연관 관계), Mold Die(사출 금형)

### Abstract

For CAD/CAPP integration, part information on not only geometry but also machining characteristics should be delivered and commonly used between designers and process planners. In this study, the machining features, as linking factors of the integration, are represented as the combination of functional features and atomic features and grouped into a hierarchical database. And the feature based modelling approach is used by generating information on the machining features in design stage. These features are drawn by analyzing real decision rules of process planners. The database using the machining features is built and used for application modules of process planning, operation planning and standard time estimation.

### 1. 서 론

설계와 가공 사이의 핵심적인 중계를 담당하는 역할로서 자동 공정 설계(CAPP, computer aided process planning)의 중요성이 부각되었다. 이 분야 연구에서 도면의 역할을 대신하여 정보 전달의 매체 개념으로 등장한 것이 '특징 형상'(feature)이다. 도면이 표현하고 있는 부품의 모양, 위치, 크기, 방향의 기하학적 정보(geometric data)와 공차, 정밀도, 물성치 등의 가공 기술적 정보(technological data)를 미리 정의된 특징 형상들의 조합으로 표현함으로써, CAD 및 CAPP 시스

템이 동일한 형태로 그 정보를 공유할 수 있도록 함에 이 특징 형상의 목적이 있다.

특징 형상을 도출하는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 그 중 하나는 B-Rep.(boundary representation)이나 CSG(constructive solid geometry) 형태의 데이터로부터 특징 형상을 도출하는 '형상 인식'(feature recognition)이며, 또 하나는 부품의 modelling 단계에서 특징 형상을 지정하는 '특징 형상 모델링'(feature based modelling)이다. CAD/CAPP 통합을 위한 형상 인식 연구에 의하여, solid modeller의 내부 데이터 베이스와 특징 형상들간의 연관 관계를 논리적으로 유추할 수 있는 효과적인 방법론들이 제시되었고<sup>(1)</sup>, 제한된 범위에서는 통합된 CAD/CAPP/CAM 시스템을 구축하기에 이르렀다.<sup>(2)</sup> 특히 PART 시스템<sup>(3)</sup>에서

\*정회원, 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실

\*\*한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실

분류한 기본 형상들은, 기계 부품에서 발생 가능한 형상들의 기하학적 분류(hole, pocket, slot등)에 관한 모범이 된다. 그러나 형상 인식에 관한 이상의 방법들은 solid model로 설계된 내용을 여러 형태로 표현된 기준 형상과 대응시켜가는 패턴 매칭(pattern matching) 문제이며, 이들 중 어떠한 방법도 복합 형상에 관한 완전한 해결책을 제시하지는 못한다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 특징 형상 모델링에 관한 연구들이 진행되고 있다<sup>(4-5)</sup>. 특징 형상 모델링 기법은 형상 인식 과정의 한계를 극복할 수 있고 부품의 기능을 고려한 설계 과정을 자연스럽게 구현할 수 있다는 장점 때문에 차세대 모델러의 모범적인 형태로 기대를 모으고 있다. 본 논문에서는 사출 금형을 대상으로 하여, 설계자의 의도가 공정 설계에 효과적으로 전달될 수 있도록 '가공 형상'(machining feature)을 개발하여 이를 통한 CAD/CAPP 통합 시스템을 구축하는 방법론을 제시한다. 가공 형상은 두 가지 개념, 즉 '기본 형상'(atomic feature)과 '기능 형상'(functional feature)을 포함하여 정의한다: 기본 형상은 부품의 위치, 크기, 방향에 관한 정보를 표현하기 위하여 기하학적 특징 형상을 분류하여 정의하며, 기능 형상은 부품의 기능에 관한 정보를 표현하기 위하여 사출 금형의 각 기능을 분류하여 정의하였다. 이러한 가공 형상은 그 상호 연관 관계(topology)에 따라 가공 형상 데이터 베이스에 저장되며, 공정설계, 작업설계, 공수계산 등의 기능 수행에 필요한 정보를 제공한다.

## 2. 설계 정보의 표현

공정 설계 업무의 첫 단계는 부품의 설계 정보를 파악하는 것이다. 설계 정보가 도면의 형태로 표현되어 있다면, 공정 설계자는 도면의 도형들과 치수 및 기호를 분석하여 소재로부터 가공이 필요한 형상들을 분류하게 된다. 이때 공정 설계자는 각 형상들이 수행하게 될 기능이 무엇인가에 관한 설계자의 의도를 파악하게 된다. 이 공정 설계 과정을 분석하여 보면, 설계자가 기능을 고려하여 3차원적 사고 방식에 의하여 작성한 도면을, 즉 기능이 명시되지 않은 2차원 도면을 공정 설계자가 다시 3차원 형상은 물론 그 기능을 유추하여야 하는 비합리성을 발견할 수 있다. Fig. 1의 예에서 설계자는

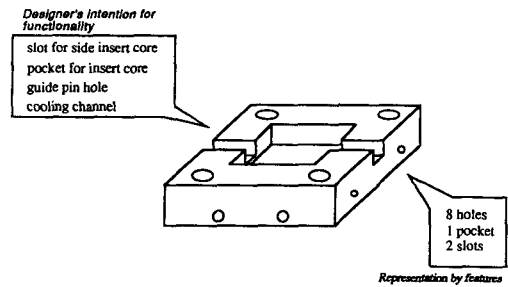


Fig. 1 Functionality's and geometric feature's view on the same part

안내 구멍(guide pin hole) 및 냉각수 구멍(cooling channel)이라는 부품의 기능에 입각하여 설계를 하였지만, 이러한 안내 및 냉각수 구멍이 본래 의미를 상실하고 단순히 8개의 구멍이라는 사실로 표현될 뿐이다. 따라서 설계자가 의도한 기능 형상 정보를 구멍이라는 기하학적 정보에 연계하여 저장하는 방법이 공정설계 자동화에 필요하다.

한편 2차원 도면의 단점을 극복할 수 있는 대안으로써, CAD 즉, solid modeller가 이용되고 있다. 그러나 CAD 단계에서 작성된 부품의 설계 정보는 바로 공정 설계에 사용될 수 없다. 왜냐하면 B.rep. 이나 CSG의 형태로 저장된 정보들은 부품의 3차원 형상을 충분히 표현하고 있다 하더라도, 부품 가공을 위한 모양과 크기를 서술할 때 사용하는 형상의 단위로 구성되어 있다고는 볼 수 없기 때문이다. 따라서 가공을 위한 단위 형상을 기하학적 정보로 사용하여 개발하고 있으며 이를 기본 형상이라 한다. 이러한 기본 형상에 가공 기술적 정보를 포함시켜 형상 인식 방법을 통한 자동 공정설계 시스템 개발이 시도되고 있으나, 복합 형상을 표현, 인식하는 방법이 어려워 제한적으로 실현되고 있다.

따라서 본 연구에서, 부품 기능을 분석하여 기능 형상으로 분류한 연구<sup>(6)</sup>와 현장 공정설계자의 의사 결정 규칙을 이용한 전문가 시스템 개발<sup>(7)</sup> 및 사출 금형에 관련하여 개발한 기본 형상<sup>(8)</sup>을 발전시켜, 사출 금형에 제한하여 CAD 시스템과 연결 가능한 가공 형상 데이터 베이스를 제안한다. 이는 설계자가 부품이 갖는 기본형상 외에 기능 형상 및 그 상호 연관 관계를 스크린 메뉴에서 선택하면, 다음에 정의하는 내용에 따라 자동적으로 가공형상 데이터 베이스가 구축되는 방법이다.

### 3. 사출 금형의 가공 형상 데이터 베이스 설계

#### 3.1 설계 개념

가공 형상 데이터 베이스 구성에 수행된 사항들은 다음과 같다.

(1) 데이터 베이스를 구성하는 레코드 종류와 그들 간의 관계 설정 : 사출 금형의 경우, 금형의 종류에 따라서 필요한 부품들이 조립되어서 하나의 완성된 금형 세트(set)를 구성하게 된다. 금형의 각 부품들에는 코어 캐비티, 유동 및 주입 장치, 냉각 장치 등 가공이 필요한 기능들이 존재하는데 이들이 기능 형상의 기본이 된다. 그리고 각 기능형상들을 이루는 포켓, 구멍, 홈 등 기하학적 기본단위들이 기본 형상이다. 각 기본 형상들은 위치, 크기, 방향의 형상 인자(parameter)에 관한 내용을 포함하고 있다. 따라서 가공 형상 데이터 베이스는 세트, 부품, 기능 형상, 기본 형상, 형상인자의 5가지 기본적인 레코드로 구성된다.

(2) 부품을 표현하는 기본 형상을 분류하여 정의 : Fig. 2의 예에서 볼 수 있는 바와 같이, 동일한 부품 일지라도 형상을 어떻게 정의하느냐에 따라서 그 표현이 달라지게 된다. 즉, Fig. 2(a)와 같이 단이 있는 구멍 형상(counter hole)을 정의하지 않은 경우는 4개의 단순 hole로 부품이 표현되지만, Fig. 2(b)에서와 같이 counter hole을 정의하면 Hole-3과 Hole-4 즉 2개의 단순 hole이 하나의 Counter Hole-1으로 대치된다. 이와 같은 개념의 사출 금형용 기본 형상을 종래의 일반 기계가공 기본 형상에 적용하여 정의한다<sup>(6)</sup>.

(3) 기본 형상들의 상호 연관 관계(topology) 도출 : 종류, 위치, 방향 그리고 크기로 구성되어 있는 기본 형상들에 관한 상호 관계를 직접적으로 표현하는 이유는, 한 부품내에서 몇 개의 기본 형상들이 조합을 이루어 새로운 복합 형상 또는 기능형상을 구성하는 형상들간의 계층적 구조 관계를

나타낼 수 있고, 또한 이들 연관 관계가 가공 공정 순서를 결정하는데 중요한 지표로 사용되어 질 수 있기 때문이다.

#### 3.2 가공 형상 데이터 베이스의 내용

가공 형상 데이터 베이스를 구성하는 기본적인 레코드들에 대한 분류 및 정의는 다음과 같다.

- (1) 세트 : 한 벌의 완성된 금형 세트에 관한 레코드
- (2) 부품 : 금형 세트를 구성하는 각각의 부품들에 관한 레코드
- (3) 기능 형상 : 부품을 구성하는 기능 형상들에 관한 레코드

사출 금형의 기능에는 형판 및 캐비티, 유동 및 주입, 열교환 및 배기, 추출, 안내, 체결, 운반, 언더컷, 분할 코어용 인서트, 외부 형상, 코어, 작동, 소재 및 특수 가공 기능 등이 있다. 기능형상이란 이러한 사출 금형의 기본 기능들을 구체적으로 세분화하여 어떤 기능을 수행하는 형상들로 35개로 분류한다. (Fig. 3 참조)<sup>(7)</sup> 이는 한 개 이상의 기본형상으로 표현되며, 현장 공정설계자의 의사 결정 규칙과 직접 연결된다.

(4) 기본 형상 : 기능형상을 구성하는 기하학적 형상에 관한 레코드. 종류별로 분류하여 pocket, hole, slot, step, groove, island, surface의 7개 범주로 나누었으며 모두 26개의 기본형상을 개발하였다. 그 중 pocket에 대한 기본형상은 Fig. 4에서와 같이 6개로 세분한다.

(5) 형상 인자(parameter) : Fig. 4에 보이는 각 기본형상들의 위치, 방향, 크기에 관한 정보를 저장하는 레코드.

• 위치 : geometric model의 body coordinate상에서 형상이 존재하는 위치는, 형상에 속한 특징적인 한 점의 position vector로써 표현. (예, hole center position)

• 방향 : body coordinate상의 특정한 위치에 형

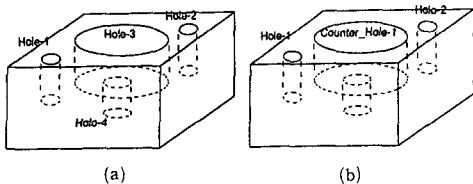


Fig. 2 Examples of the atomic feature definition

prima-pocket	cotter	inner
air-vent	runner-gate	guide-rail
O-ring	stripper-assembly-pocket	symmetrical-pocket
corner-cut	pocket-for-insert-core	protection-slot
square-hole	sprue-bush-hole	guide-pin-hole
cooling-channel	general-hole	slant-tapping-hole
tapping-hole	eject-pin-hole	sleeve-pin-hole
lead-pin-hole	hole-of-assembly-bolt	eye-bolt-hole
angular-pin-hole	slant-hole	debush-hole
lateral-face-square-hole	prcise-hole	stopping-hole
primaly-shape	insert-pocket	slant-slide-core
core-cavity	raw-material	

Fig. 3 Classification of the functional features

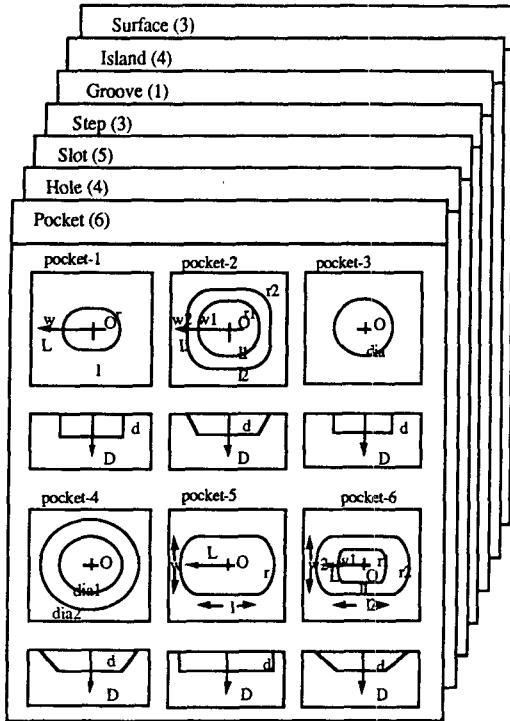


Fig. 4 List of the atomic features and the parameters on pockets

상이 어떠한 방향으로 존재하는가에 관한 내용으로, 형상에 고정된 단위 direction vector로써 표현. (예, hole의 축 방향)

- 크기 : 형상의 절대 크기는 각각의 형상들의 기하학적 특성 요소들의 dimension으로 표현. (예, hole의 diameter, depth)

### 3.3 상호 연관 관계

가공 형상 데이터 베이스 내에서 각 셋트, 부품, 기능 형상, 기본 형상, 형상 인자 레코드들의 계층

적 연결 관계는 다음과 같다.

(1) 셋트 및 부품 레코드들은 자기 링크드 리스트(linked list) 구조로 연결되어지고, 셋트 레코드에서 해당되는 부품 레코드의 리스트로 포인터가 연결된다.

(2) 기능 형상의 레코드들은 비록 동일한 부품을 구성하고 있다 할지라도 하나의 링크드 리스트 구조에 의해서 연결되어지는 것이 아니고 위치 관계에 따라서 차등적인 계층 구조를 갖는다. 즉, 어떠한 형상 가공에 의하여 생성된 형상 가공면에 또다른 형상이 존재하면 후자는 전자의 child이고 전자는 후자의 parent로 정의한다. 그리고 동일한 parent의 child인 형상들끼리는 brother 관계로 정의한다. 이와 같은 형상들간의 차등적 계층 구조의 예는 Fig. 5와 같다. 서로 brother 관계에 있는 기능 형상의 레코드들은 링크드 리스트 구조로 연결되고 그들의 parent 기능 형상의 레코드로부터 포인터가 연결된다.

(3) 기본 형상도 기능 형상과 마찬가지로 동일한 형상내에서 그들의 위치 관계에 따라서 parent-child 또는 brother관계의 차등적인 계층 구조를 이루게 된다. 즉, 서로 brother 관계에 있는 기본 형상의 레코드들은 링크드 리스트 구조로 연결되어지고, 그들 parent의 기본 형상의 레코드 또는 해당 기능 형상의 레코드로부터 포인터가 연결된다.

(4) 모든 기본 형상 레코드들은 그것에 해당하는 형상 인자 레코드로 연결되는 포인터를 갖고있다. 상호 연관 관계에 의해 레코드들이 연결되는 예를 Fig. 6에서 볼 수 있다. 기본 형상 1, 2, 3, 4는 동일 기능 형상 밑에서 서로 brother 관계를 갖고 있으며, 기본 형상 5와 기본 형상 6, 7, 8은 parent-child 관계를 갖고 있다.

이상의 가공 형상 데이터 베이스의 내용과 상호

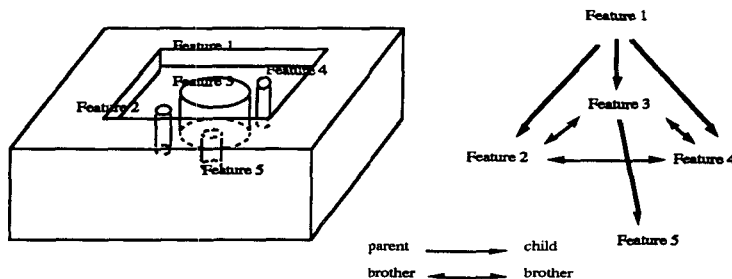


Fig. 5 Hierarchical relation between features

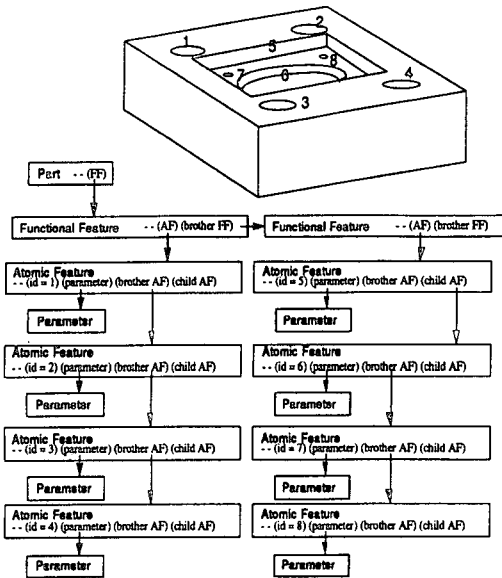


Fig. 6 Example of the feature topology in the machining feature database

연관 관계는 설계자가 화면에 제공되는 메뉴중 선택함으로써 입력되도록 하였다. 즉, 기능 형상 및 기본 형상을 선택하여 관련 형상 인자를 입력하고, parent-child 관계에 따라 부품을 설계하면, 내부 프로그램에 의해 자동적으로 가공 형상 데이터 베이스가 구축된다.

#### 4. CAD/CAPP 통합 시스템

본 장에서는 개발된 가공 형상 데이터 베이스를 중심으로 구축된 CAD/CAPP 통합 시스템을 설명한다. CAD 시스템, 공정 설계 시스템, 작업 설계 시스템, 공수 산정 시스템들 사이의 정보의 교환과 최종적으로 작업지시서에 연결되는 일련의 관계를 Fig. 7에 나타냈다<sup>(8)</sup>.

(1) 본 연구에서 사용되고 있는 CAD 시스템인 MOLDSYS는, CSG에 의한 solid modeller인 PADLII를 사용하여 특징 형상 모델링 기법을 사용하여 부품에 대한 설계를 수행한다<sup>(9)</sup>. 이때 금형의 각 부품들을 표현하기 위하여 고안된 기능 형상과 기본 형상들을 모델링의 단위로 사용한다. MOLDSYS에서 사출 금형의 각 부품들의 설계가 이루어지면, 가공 형상에 관한 데이터 파일들이 생성되고, 그들로부터 가공 형상 데이터 베이스가 구

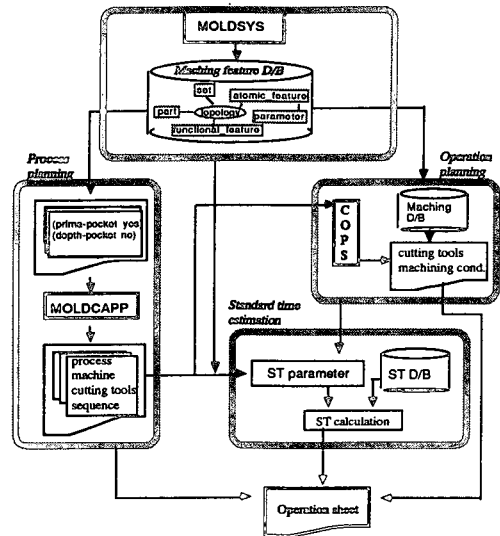


Fig. 7 Information flow in CAD/CAPP system consisted of machining feature database, process planning, operation planning, and standard time estimation

성된다. 이 가공 형상 데이터 베이스가 공정 설계, 작업 설계 그리고 공수 산정을 위한 정보들을 제공한다.

(2) 공정 설계 시스템(MOLDCAPP)은 전문가 시스템 개발 도구(expert system shell)로 CLIPS를 사용하여, 금형 공정 설계 전문가의 경험과 지식을 규칙 베이스(rule base)화 하였다<sup>(7)</sup>. 이 규칙들은 현장 공정설계자와 대화를 통해 분석, 작성한 것으로서, 상원관, 하원관, 코어, 캐비티 등 사출 금형의 중요 10개 부품 가공에 필요한 의사 결정 내용이다. MOLDCAPP은 가공 형상 데이터 베이스로부터 공정 설계에 필요한 부품의 형상 특성을 인식하여 부품 가공을 위한 가공 공정 및 순서, 기계 그리고 공구의 선택에 대한 의사를 결정한다<sup>(8)</sup>.

(3) 작업 설계 시스템(COPS)에서는 가공 형상 데이터 베이스와 MOLDCAPP의 출력 자료를 입력으로 하여 자체 데이터 베이스로부터 가공량, 공구 사양, 가공 조건 등을 검색, 출력한다<sup>(10)</sup>.

(4) 공수 산정 시스템에서는 가공 형상 데이터, 공정 데이터, 작업 설계 데이터들을 모두 종합하여 예상 가공 시간을 계산한다. 이때 각 공정별로 현장에서 사용하는 공수 계산 도표를 데이터 베이스화 하여 각 공정별 및 기본 형상별로 작업 시간을 계산한다<sup>(8)</sup>.

5. 적용 사례

사례연구로 Fig. 8의 받침판 없는 2단 사출 금형을 구성하는 캐비티 코어에 관한 도면을 이용하였고, 이 부품(KO2)과 관계하여 MOLDSYS에서 제공하는 금형의 셋트, 부품, 기능 형상, 기본 형상, 형상 인자등 5가지 종류의 데이터 화일을 Fig. 9에 보였다. 부품 번호가 K02인 캐비티 코어는 Fig. 9(c)에서 7개 이상의 기능 형상으로 구성되어 있고, 그 중 기능 형상 eject-pin-hole은 runner-gate와 그리고 다른 기능 형상들은 raw-material과 parent-child 관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 이상의 7개 기능형상을 이루는 기본 형상들은 Fig. 9(d)에 정리되었다. Fig. 8의 SECTION A-A에서 중간 우측에 pocket 복합 형상으로 존재하는 기능

형상 general-hole(13)은, Fig. (d)에서 95번부터 98번의 기본 형상 pock-3과 pock-4로 이루어진다. pock-4는 pock-3의 child로써 이들의 형상 인자는 Fig. 9(e)에 기술되었다. 95번 pocket-4에서 정의한 형상 인자인 dia1, dia2, d값들과 부가가공 내용이 연이어 Fig. 9(e)에 나타나 있다.

이와 같은 데이터 화일들을 입력정보로 하여 가공 형상 데이터 베이스를 구성하고 공정계획을 수행한 결과, 10개 가공 공정에 대한 기계 및 공구의 선정과 가공공수 계산을 포함하는 Fig. 10과 같은 작업 지시서가 발행된다. 작업지시서 출력 내용에서, 아직 COPS 모듈의 연결이 완성되지 않은 관계로 그 내용이 현재 포함되어 있지 않으며, 가공 공정, 기계, 공구의 선정 및 공수 계산은 공정설계의사결정 규칙을 수집한 환경에 따라 그 내용이 다소 변경된다.

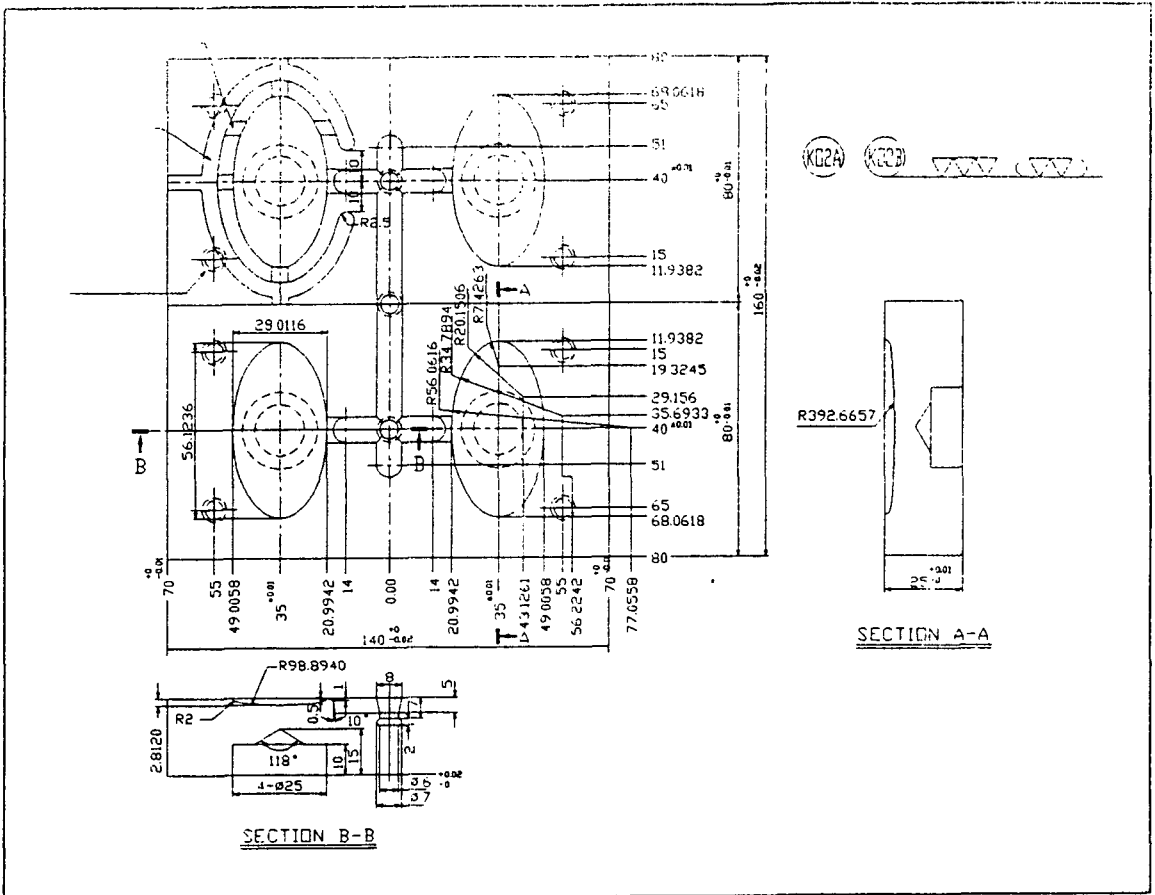


Fig. 8 A drawing example of the cavity-core of a mold die

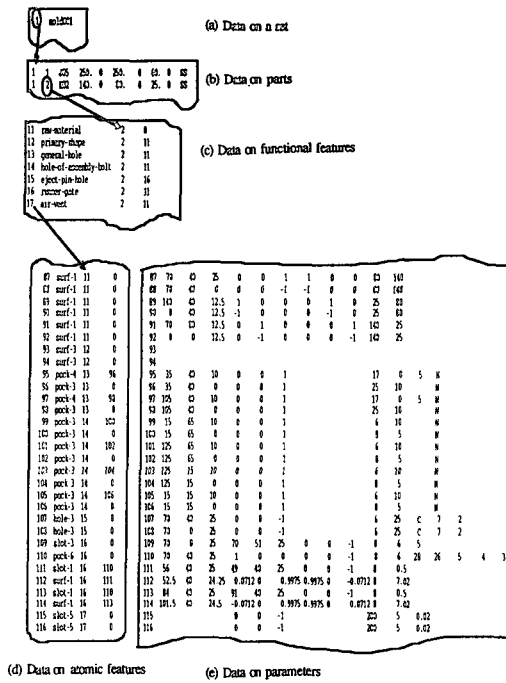


Fig. 9 Input data to the machining feature database from the MOLDSYS

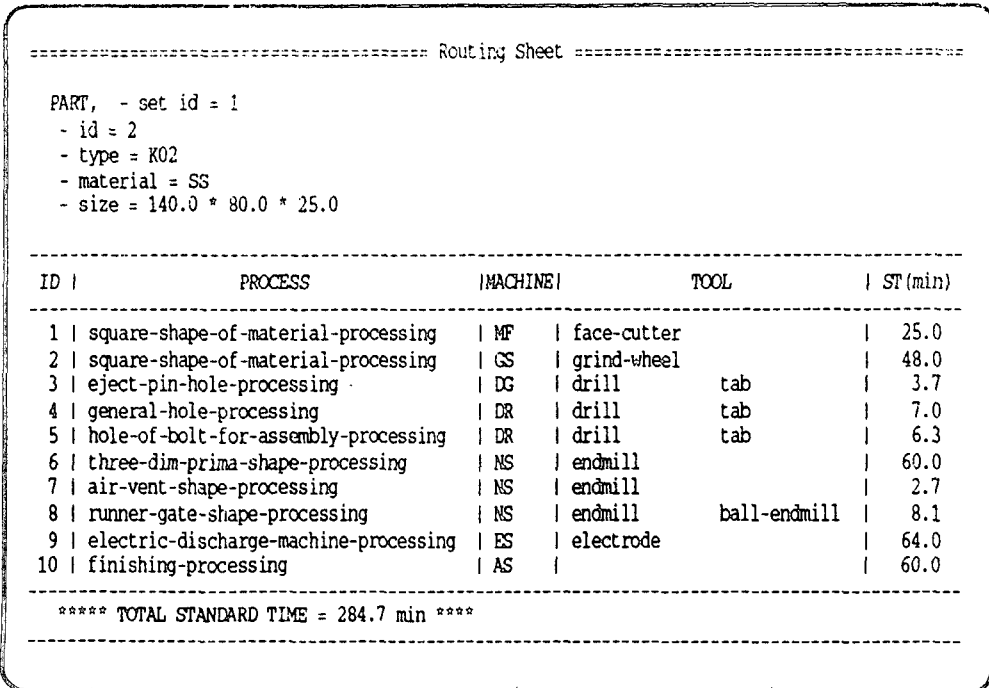


Fig. 10 Output of the operation sheet for the example part

## 6. 결론

본 연구에서는 가공 형상 데이터 베이스를 개발하여 CAD/CAPP 통합 시스템을 구축하였고, 그 중요 내용을 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 사출 금형 부품의 CAD/CAPP 통합을 위한 가공 형상(machining feature) 정보는 각 부품의 기능 형상(functional feature), 기본 형상(atomic feature), 형상 인자(parameter)를 차등적 계층 구조로 표현하였다.

(2) 기능 형상을 도입함으로써, 종래의 도면이나 기본 형상만으로 전달할 수 없었던 부품의 기능에 관한 설계자의 의도를 전달할 수 있었다. 이와 같은 부품 기능에 관한 정보는 현장 공정설계자의 의사 결정 규칙과 직접 연결할 수 있으므로, 전문가 시스템에 의한 CAD/CAPP 통합의 중요 매체 역할을 수행하였다.

(3) 기본 형상과 기능 형상을 포함한 가공 형상 데이터 베이스를 개발함으로써, 기존의 특징 형상(feature) 개념을 사출 금형 분야에 실질적으로 발전시켰다.

이러한 가공 형상 데이터 베이스를 중심으로한 CAD/CAPP 시스템이 실용화 단계에 이르기에는 아직 개선되어야 할 분야가 많다고 사료되며, 본 연구는 다음의 내용을 계속 수행할 것이다.

(4) 형상 인자에 가공 공차 및 정밀도에 관한 정보를 첨가한다.

(5) 기능 형상 분류 및 의사 결정 규칙을 보완한다.

(6) MOLDSYS, MOLDCAPP, COPS의 전 시스템 모듈을 연결한다.

## 참고문헌

(1) Joshi, S. and Chang, T.C., 1988, "Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined Features

from a 3D solid Model," Computer-Aided Design Vol.20, No. 2, pp. 58~56.

(2) Lee, Kyo Il, Lee, Jin Whan and Lee, Jang Moo, 1989, "Pattern Recognition and Process Planning of Prismatic Workpieces by Knowledge Based Approach," Annals of the CIRP Vol. 38-1, pp. 485~488.

(3) van Houten, F. J. A. M., van't Erve, A. H. and Kals, H.J.J., 1989, "PART, A Feature Based CAPP System," Proceedings of the 21th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Stockholm.

(4) Pratt, M. J., 1988, "Synthesis of an Optimal Approach to Form Feature Modelling," Proceedings of 1988 ASME International Computers in Engineering Conference, pp. 263~274.

(5) Chang, T.C., 1990, "Geometric Reasoning-The Key to Integrated Process Planning," 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Univ. of Twente, The Netherlands.

(6) Rho, Hyung-Min, Sheen, Dongmok and Lee, Chun-Sik, 1990, "A Description Scheme of Mold Dies by Using Specific Part Features," 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing System, Univ. of Twente, The Netherlands.

(7) 한국과학기술연구원, 1990, "사출 금형의 가공 자동화를 위한 공정 설계 시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N668(5)-4008-2.

(8) 한국과학기술연구원, 1991, "사출 금형의 가공 자동화를 위한 공정 설계 시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N762(4)-4238-2.

(9) 한국과학기술연구원, 1991, "금형 설계용 Modular CAD 시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N762(2)-4282-2.

(10) 한국과학기술연구원, 1991, "설계와 가공의 Interfacing 기술 개발", 과학기술처 연구 보고서, N762(5)-4296-2.