

# 사출금형부품 가공을 위한 공정계획 전문가시스템의 개발 사례

조규갑\*, 오정수\*\*, 임주택\*\*, 노형민\*\*\*

## Development of Process Planning Expert System for Machining of Injection Mold Part

Kyu-Kab Cho\*, Jeong-Soo Oh\*\*, Ju-Taek Lim\*\*, Hyung-Min Rho\*\*\*

### 요 약

컴퓨터통합생산 시스템의 실현을 위한 중요한 분야의 하나는 부품설계도면으로부터 최종제품을 생산 하는데 필요한 공정계획의 자동화, 즉 컴퓨터지원 자동공정계획(Computer Aided Process Planning ; CAPP) 시스템 기술의 개발이다. 국내외적으로 금형가공 부품을 대상으로 한 CAPP 시스템의 개발은 비교적 저조하므로, 본 연구에서는 사출금형 부품을 대상으로 하여 실용성이 있는 공정계획 전문가시스템 개발을 목적으로 한다.

본 연구에서 금형 공정계획전문가의 경험적 지식을 기반으로 한 사출금형부품의 공정계획 전문가시스템인 MOLDCAPP을 개발하였다. MOLDCAPP 시스템은 도면정보로부터 형상정보를 자동적으로 인식하여 공정계획의 기능 중에서 가공공정, 가공공정 순서, 공작기계 및 절삭공구를 자동적으로 결정한다. 개발된 MOLDCAPP시스템은 실제 사례연구를 통하여 그 타당성을 분석하였다.

Key Word : 공정계획, 전문가시스템, 사출금형부품 가공

## 1. 서 론

공정계획은 소재로부터 제품을 경제적, 효율적으로 생산하는 데 필요한 제조공정의 체계적인 결정이라고

정의할 수 있다(Chang 등, 1991). 일반적으로 공정 계획에 포함되는 기능은 설계정보로부터 가공공정의 선정 및 순서의 결정, 공작기계의 종류 및 순서의 결정 등에 관한 거시적인 결정과 지그 및 고정구의 설계와 사용조건의 결정, 공정내의 작업순서의 결정, 절삭

\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소, 기계기술연구소 지능생산연구실

\*\* 부산대학교 기계기술연구소 지능생산연구실

\*\*\* KIST CAD/CAM 연구실

공구의 선택, 가공조건의 결정, 공구경로의 결정 등에 관한 미시적인 결정이다. 이러한 공정계획 업무는 주로 공정계획자의 경험에 의존하여 왔으며, 최근에는 공정계획 전문가의 부족현상, CAD/CAM시스템의 보급 및 생산형태의 다변화 현상에 따라 CAPP시스템의 개발이 필연적인 과제로 대두되었다.

CAD 데이터로부터 제조를 위한 작업지시서를 자동적으로 생성할 수 있는 CAPP시스템을 개발하기 위해서 여러가지의 접근방법이 시도되었다(Eversheim과 Schneckwind, 1993; Alting과 Zhang, 1989; Descotte과 Latombe, 1981; Joshi, 1987). 그러나 CAD/CAPP 인터페이스 부분과 공정계획에 포함된 기능의 수행을 위해 의사결정을 하는 부분은 사람의 개입을 여전히 필요로 한다. 따라서 1980년대 들어서 학계 및 산업계에서는 위의 두 부분을 자동화하기 위한 많은 연구개발이 시도되었는데, 그들 연구중에서 공정계획 기능의 지능적인 자동화에 관한 연구가 주요 초점이 되고있다(Chang 등, 1991).

CAPP시스템의 개발은 주로 국외에서 기계가공 부품을 대상으로 150여 시스템이 개발되었으나(Alting과 Zhang, 1989), 설계가 복잡하고 가공하는 데 많은 시간이 소요되는 금형 부품을 대상으로 하는 것은 드물다. 한편 국내에서 사출금형 부품을 대상으로 한 CAPP시스템(조규갑, 1992; 한국과학기술원, 1991)의 개발에 관한 연구가 이루어지고 있는 실정이며, 이 분야에 대한 연구 및 개발은 금형제조업에 대한 CIMS의 실현에 매우 필요한 과제이다.

본 연구의 목적은 사출금형 부품 중에서 비회전형상 부품을 대상으로 하여 공정계획이 자동적으로 수행되는 공정계획 전문가시스템을 개발하는 데 있다. 본 연구에서 CAPP 시스템의 입력은 사출금형 부품의 기능특성 분석을 통하여 구축한 인식구조체 및 인식규칙베이스를 사용하여 형상특징을 자동적으로 인식하도록 하였으며, 또한 비형상특징 정보들은 사용자와의 대화형으로 인식하도록 하였다. 공정계획의

기능 중에서 가공공정, 공작기계, 가공공정 순서 및 절삭공구는 전문가시스템에 의해서 수행되도록 하였다.

본 연구에서 개발한 프로토타입의 공정계획 전문가시스템인 MOLDCAPP은 PC 상에서 운용되도록 하였으며, 시스템 개발시 CAD시스템은 범용성과 실용성이 있는 AutoCAD (Jones과 Martin, 1987; Mark, 1989)시스템을 사용하였고, 전문가시스템 툴은 CLIPS (Version 4.2) (Giattatano, 1988)를 사용하였다. 개발된 MOLDCAPP시스템은 실제 사례연구를 통하여 그 타당성을 분석하였다.

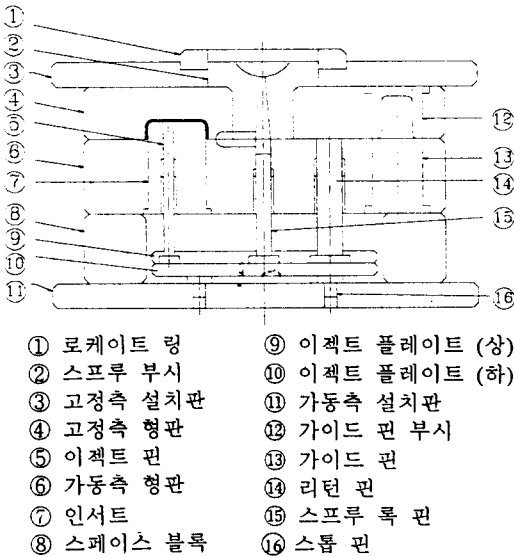
## 2. 사출금형 부품의 특성 분석

### 2.1 사출금형의 구조와 주요기능

사출금형은 열가소성 수지를 사출기에서 가열 및 용융하여 유동시킨 다음, 그것을 노즐을 통해서 금형의 성형부에 압입한 후 소정의 온도까지 냉각 및 고화시켜 형을 열고 성형품을 취출하는 것을 말한다. 이러한 사출금형은 가공품의 종류, 재질, 성형방법, 금형의 구조, 크기, 수량, 정밀도 및 용도에 따라 다양하게 분류할 수 있으나, 본 연구에서는 연구대상으로 “받침판이 없는 2단 사출금형(FUTABA SC TYPE)”을 선정하였으며, 이것을 선택한 이유는 다음과 같다.(조규갑, 1989).

- 사출금형 사용에 대한 조사결과에서 받침판이 없는 2단 사출금형의 사용 빈도수가 가장 높았기 때문이다.
- 사출금형 구조가 가장 간단하므로, 공정계획용 지식의 획득이 용이하기 때문이다.

본 연구에서 연구대상으로 선정한 받침판이 없는 2단 사출금형의 구조와 각 부위의 명칭은 <Fig. 1>과



(Fig. 1) Structure of Two-Plate Injection Mold without Support Plate

같으며(홍명웅, 1985) 주요기능에 따른 구성 부품들을 분류하면 다음과 같다.

- (1) 형판 및 캐비티 기능 : 고정측 형판 (일체형, 분할형), 가동측 형판 (일체형, 분할형) 캐비티 코어, 코어, 슬라이드 코어, 인서트
- (2) 유동 및 주입 기능 : 런너, 게이트 및 스프루
- (3) 금형 열교환 기능 : 냉각수 구멍
- (4) 성형품 취출 기능 : 이젝트 플레이트(상, 하), 이젝트 핀, 슬리브 핀
- (5) 성형기 부착 기능 : 고정측 설치판, 가동측 설치판
- (6) 안내 및 정렬 기능 : 가이드 핀, 리턴 핀, 스페이스 블록

연구대상인 받침판이 없는 2단 사출금형은 8개의 주요 부품, 즉 고정측 형판, 가동측 형판, 캐비티 코어 및 코어, 슬라이드 코어, 스페이스 블록, 이젝트 플레이트, 고정측 설치판 및 가동측 설치판으로 구성되어 있으며, 이 가운데 고정측 형판과 가동측 형판은 2가지의 형식으로 구분되는데, 성형품의 기하학적 형상이 복잡하거나 고급재질을 사용하는 경우에 코어

부분만을 분할 가공하여 형판에 삽입하는 경우를 분할형이라 하고, 그렇지 않은 경우를 일체형이라고 한다. 따라서 본 연구에서는 고정측 및 가동측 형판의 일체형, 분할형을 각각 다른 부품으로 취급하여 10개의 구성 부품이 존재하는 것으로 한다. 이와 같이 10개의 구성 부품으로 분류한 이유는 일반적으로 부품의 명칭은 그 부품이 갖고 있는 대표적인 기능을 표시하며, 또한 사출금형 부품도면 1000매를 분석한 결과, 각 부품의 명칭에 따라 존재할 수 있는 기능 특성에 관련된 형상들을 용이하게 획득할 수 있기 때문이다.

## 2.2 사출금형 부품의 형상특징 및 제조특징

일반적으로 부품 내부의 가공해야 할 부분을 특징 (Feature)(Shah, 1992)이라 하며, 특징의 정의는 가공공정과 밀접한 관련이 있으며 사용자에 따라 조금씩 다르게 정의되고 있는데, Henderson은 “하나의 명시된 제조공정에 관련되어 있는 연결된 면들의 집합”(Henderson, 1984), Joshi는 “절삭가공의 측면에서 제조의 중요성을 갖는 부품의 일부 영역”(Joshi, 1987)이라고 정의하고 있다.

기존의 공정계획시스템은 주로 인간이 부품의 도면이나 모델에 대한 기하학적 형상과 이들 형상이 갖는 가공특성을 해석하여 이것을 특징의 내용으로 변환시킨 후 사용하여 왔는데, 공정계획시스템의 완전 자동화를 위해 CAD 모델러에서 기하학적 형상과 가공특성에 관련된 정보를 자동적으로 추출할 필요가 있다.

특징은 이것을 가공하는 방법에 관한 지식과 관련되며 또한 이 정보를 이용하여 공정계획을 수립하는데 사용될 수 있으므로 그 인식의 중요성이 강조되고 있다. 특징의 인식은 CAD와 CAPP의 인터페이스의 주요 부분을 차지하고 있다. 요약하자면 특

정은 부품내의 기하학적 형상과 이들 형상이 갖는 가공특성을 정의하면서 가공공정과 직접 대응하고 있고, 각각의 특징은 기하학적 형상을 나타내는 변수와 가공특성에 의해 표현될 수 있다.

사출금형 부품의 공정계획시 인식 대상이 되는 것이 부품에 존재하는 기능특성 및 관련된 형상이므로 본 연구에서는 특징의 정의를 세분화 했는데, 특징이 갖는 기하학적 형상을 형상특징(Form Feature ; FF)이라고 하고, 이들 형상특징이 갖는 기능을 제조특징(Manufacturing Feature ; MF)이라 하였다.

본 연구에서 연구대상으로 선정한 받침판이 없는 2단 사출금형의 각 형판에 존재할 수 있는 형상특징을 정의하기 위해서 사출금형 설계도면 1000벌을 실제 각 분야별 금형설계전문가와 분석하여 Pocket, Hole, Step, Boss, Slot 및 Groove로 분류하였으며, 본 연구에서 분류한 형상특징들의 정의는 다음과 같다.

- **Pocket** : 육면체 형상에서 임의의 한 면에서 모서리가 포함되지 않는 면의 일부가 대칭면 방향으로 비관통된 형상.
- **Hole** : 육면체 형상에서 임의의 한 면에서 모서리가 포함되지 않는 면의 일부가 대칭면 방향으로 관통된 형상.
- **Step** : 육면체 형상에서 하나의 꼭지점을 기준으로 두 모서리를 포함하는 면의 일부가 나머지 한 모서리를 축으로 전부 또는 일부가 제거된 형상.
- **Boss** : 육면체 형상의 임의의 한 면에 포함되는 네 모서리가 제거되어 돌출된 형상.
- **Slot** : 육면체 형상의 임의의 한 면에서 모서리를 포함하는 면의 일부가 대칭면 방향으로 전부 또는 일부가 제거된 형상.
- **Groove** : 육면체 형상의 임의의 포켓형상 내부에 존재하면서 동심원으로 이루어지는 홈의 형상.

본 연구에서 대상으로 하는 기하학적 형상은 모두 44개이며, 이는 <Fig. 2>에 나타내었다.

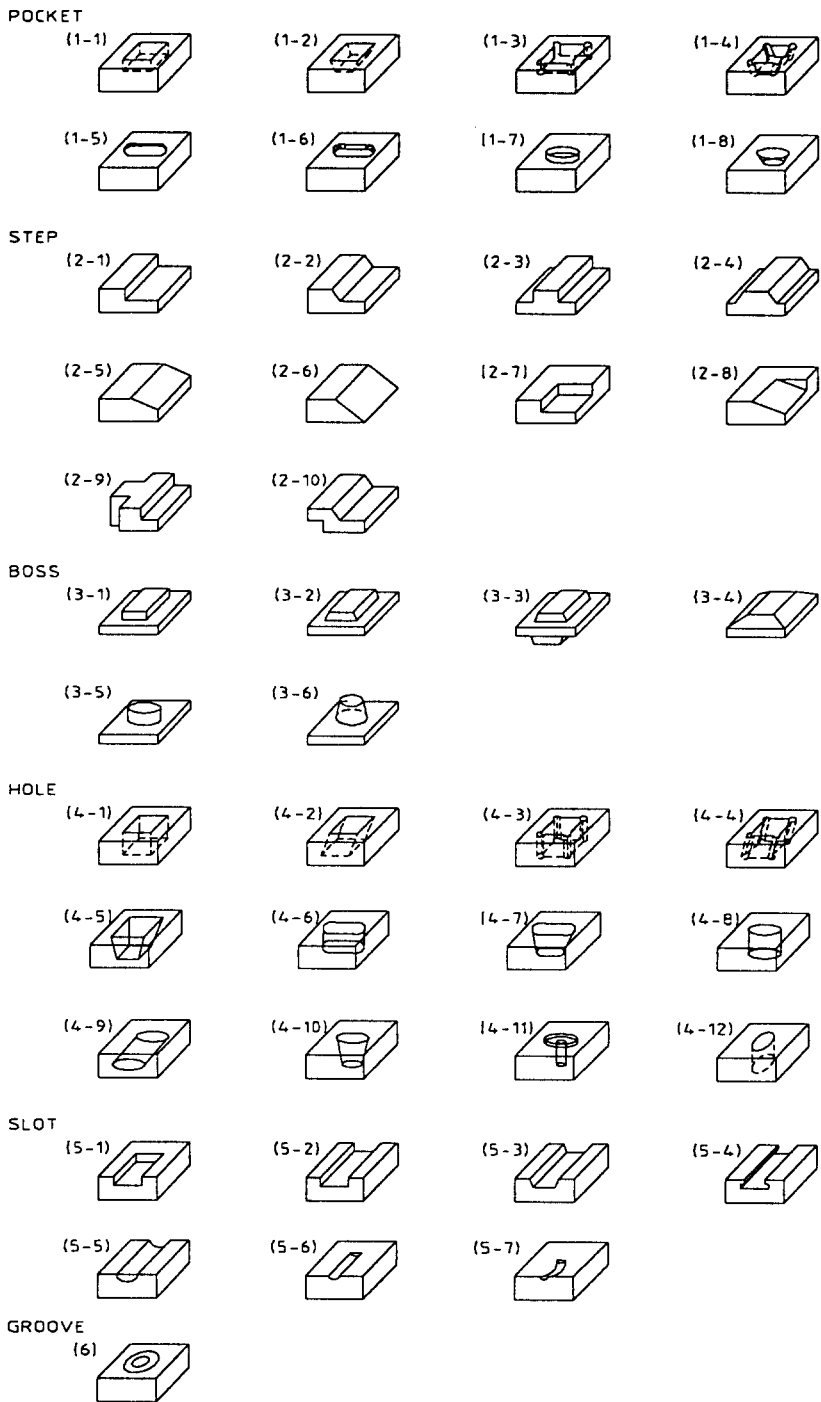
## 3. MOLDCAPP시스템의 개발

### 3.1 MOLDCAPP시스템의 구성

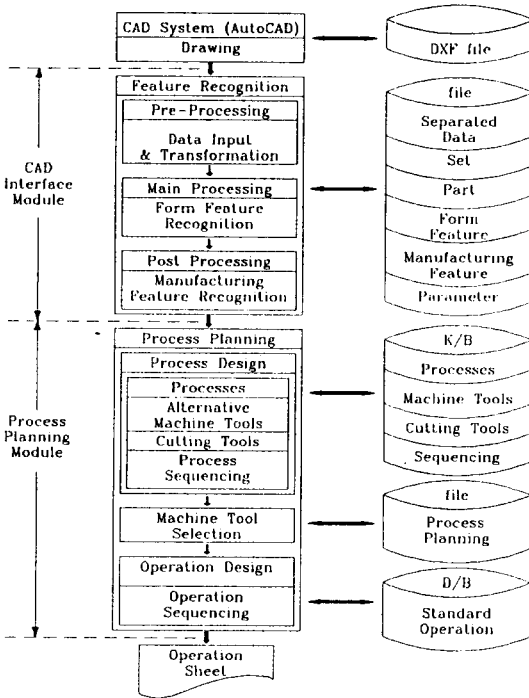
본 연구에서 개발한 공정계획 전문가시스템인 MOLDCAPP은 사출금형의 비회전형상 부품만을 대상으로 하여 각 형판을 가공하는 데 필요한 가공공정, 공작기계, 절삭공구, 가공공정 순서 및 세부 작업순서 등을 자동적으로 생성하는 시스템이다. MOLDCAPP시스템의 전체 개략도는 <Fig. 3>과 같으며, 시스템은 크게 CAD 인터페이스 모듈 및 공정계획 모듈의 두 부분으로 구성되어 있다. CAD 인터페이스 모듈은 AutoCAD시스템과 공정계획 모듈을 연결하는 역할을 하며, 내부 구성단계로는 선행처리 부분인 데이터 변환단계와 주처리 부분인 형상특징 인식단계 및 후처리 부분인 제조특징 인식단계로 구성되어 있다. 또한 공정계획 모듈은 3단계로 구성되어 있는데, 협의의 공정설계(Process Design), 즉 가공공정, 대안 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서 결정단계와 공작기계 선정단계 및 작업설계(Operation Design)인 세부 작업순서 결정단계로 구성되어 있다.

### 3.2 CAD 인터페이스 모듈

CAD 인터페이스 모듈은 데이터 변환단계, 형상특징 인식단계 및 제조특징 인식단계로 이루어진다. 본 연구에서 사용한 AutoCAD는 다른 프로그램과의 도면정보 교환을 지원하기 위해 DXF 화일이라는 간결한 형태로 표현한 부품에 대한 데이터를 수치정보로 제공하며, 공정계획 및 구조분석 등의 각종



<Fig. 2> Geometric Shapes in each Form Feature

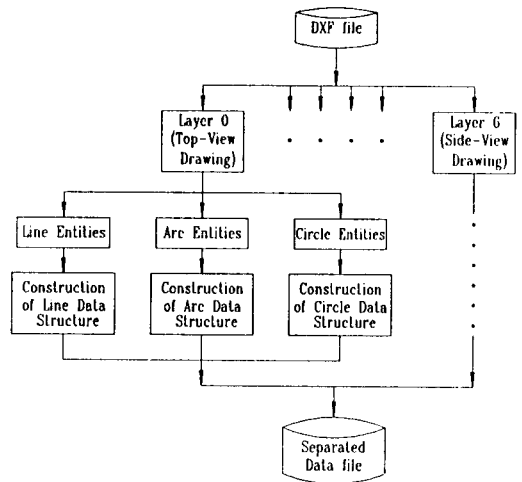


〈Fig. 3〉 System Architecture of MOLDCAPP

응용분야에서 DXF 화일을 이용한다(Jones과 Martin, 1987 ; Mark 1989).

### 3.2.1 데이터 변환단계

지금까지 삼각법으로 평면에 표현된 부품은 사람의 추론에 의해 각 투영면을 조합함으로써 입체형상으로 해석되어져 왔다(Madurai, 1992). 본 연구에서는 부품에 존재하는 형상특징의 인식을 용이하게 하기 위해서, AutoCAD 시스템에서 제공하는 층(layer) 기능을 사용하였다. 삼각법에 의해서 평면도, 정면도 및 우측면도에 표현되는 도면요소 정보들은 각 층별로 분리해서 입력되고, 각 층에 입력된 도면요소 정보들은 〈Fig. 4〉와 같이 직선, 원호 및 원의 도면요소 정보별로 각각의 해당 데이터 저장구조체에 저장되어 새로운 데이터 화일을 생성한다.



〈Fig. 4〉 Architecture of Data Transformation

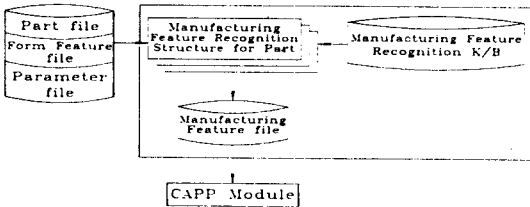
### 3.2.2 형상특징 인식단계

데이터 변환단계에서 구축된 데이터 화일을 이용해서 새로운 비회전형상 부품도면에 존재하는 형상특징을 인식한다(조규갑 외, 1992). 먼저 실선 데이터가 저장된 평면도 층 0에서 원, 원호 및 직선의 도면요소 정보별로 각각 형상특징을 인식한다. 층 0에서 인식되지 않는 도면요소 정보들은 층 1, 4, 5를 기준으로 형상특징을 인식해서 형상특징 및 형상인자 화일을 생성한다.

### 3.2.3 제조특징 인식단계

제조특징(Manufacturing Feature ; MF)은 인식된 형상특징들을 가공하기 위한 가공공정을 선정하는데 영향을 미치는 제조상의 특징이다. 제조특징은 앞에서 분류한 사출금형의 각 부품에 존재하는 기능특성들의 인식표에 포함된 기능명이다. 제조특징 인식은 인식된 형상특징의 속성, 즉 형상특징의 종류, 형상특징이 존재하는 좌표값, 존재하는 위치면 및 형상치수 등과 같은 형상특징의 정보에 인식규칙을

적용하여 부품에 존재하는 기능들을 인식한 후, 제조특징 화일을 생성한다. 제조특징 인식단계(조규갑과 김석재, 1991)는 부품의 종류에 따른 고유한 제조특징들을 정의한 부품별 인식구조체, 각각의 제조특징을 인식하는 인식규칙들로 이루어진 인식 규칙베이스 및 MF 화일 생성부로 구성되어 있는데, 도식화하면 <Fig. 5>와 같다.



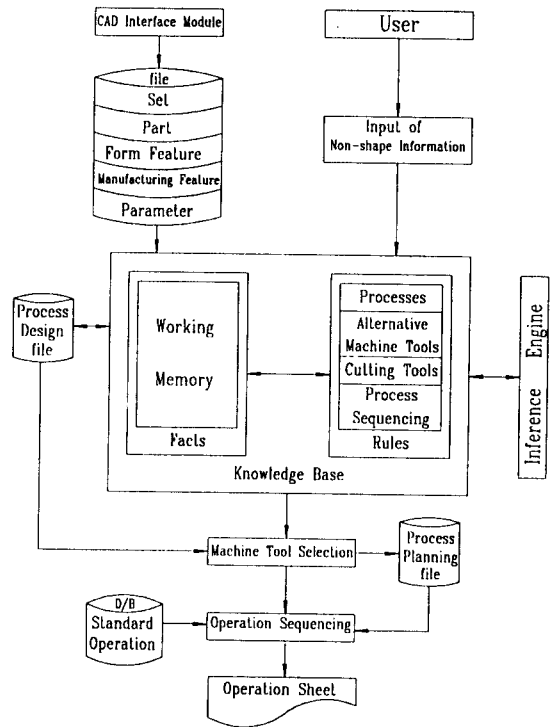
<Fig. 5> Structure of Manufacturing Feature Recognition

MF 화일은 제조특징 인식단계에서의 인식결과를 수록한 화일로 제조특징 인식 작업이 완료되면 자동적으로 생성되어 공정계획 모듈의 입력데이터로 제공된다. 제조특징은 형상특징의 종류, 좌표값, 존재하는 위치면 및 형상치수 등과 같은 요소들을 조합하여 서술되는데, 이들 요소를 인식할 수 있는 기본규칙을 각 제조특징 별로 개발하였다.

### 3.3 공정계획 모듈

공정계획 모듈의 구성도는 <Fig. 6>과 같고, 시스템이 의사결정을 수행하기 위해서 필요한 입력정보는 해당 부품에 존재하는 형상특징 및 제조특징과 비형상특징 정보들이다. 이들 중에서 형상특징 및 제조특징은 CAD 인터페이스 모듈의 출력 화일들을 사용하고, 비형상특징 정보와 CAD 인터페이스 모듈에서 인식하지 못한 자유곡면 형상특징(Wong과 Siu, 1992), 즉 단면형상이 직선, 원호 및 원 이외의 곡선으로 표현되는 자유곡면 형상특징 정보들은 사용

자로부터 직접 입력 받는다. 그러면 입력정보들에 대한 의사결정에 필요한 지식들을 전문가로부터 획득해서 제조 지식베이스로 구축하는 과정을 기술한 후, 공정계획 모듈의 각 단계별 처리과정을 기술하면 다음과 같다.



<Fig. 6> Architecture of Process Planning Module

#### 3.3.1 제조 지식베이스 구축

사출금형의 부품에 존재하는 기능특성에 관련된 형상특징 및 제조특징을 인식하고 난 다음 가공공정, 대안 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서의 결정을 위해서 인터뷰를 통해 공정계획 전문가로부터 공정계획 수행시 필요한 지식들을 획득했다. 획득된 지식들의 검증과 생산설비 및 가공기술의 변화에 대한 지식베이스를 수정 및 보완할 때 지식들을 일관성

있게 수정할 수 있도록 하기 위해, Knowledge Map (Lu, 1987)의 개념을 사용하여 획득된 지식들을 검증한 다음 각 구성 부품별로 제조 지식베이스를 구축하였다. 제조 지식베이스의 구축과정을 설명하면 다음과 같다.

### (1) 공정계획용 지식의 획득

공정계획 전문가가 공정계획을 수행할 때, 전문가의 의사결정 요소와 우선순위가 중요하게 작용한다. Ihara와 Ito(Ihara, 1991)가 조사한 공정계획 전문가들이 의사결정 과정에서 고려하는 영향요소를 요약하면 다음과 같다.

- ① 부품에 존재하는 형상특징 및 형상치수
- ② 열처리의 필요성
- ③ 높은 정도를 요구하는 부위의 존재
- ④ 가공이 어려운 부위의 존재
- ⑤ 가공경비 절감
- ⑥ 대안 공작기계의 가용성
- ⑦ 부품의 재료

공정계획 전문가들은 상기 영향요소들 중에서 특히 가공공정, 대안 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서를 결정하기 위해서 다음과 같은 두 부분의 우선순위를 두는 것을 알 수 있었다.

- ① 부품에 존재하는 형상특징, 형상치수 및 열처리의 필요성
- ② 가공이 어렵거나, 높은 정도를 요구하는 부위의 존재

본 연구에서는 공정계획 전문가 의사결정시 우선순위를 고려하여 구축된 제조 지식베이스의 규칙의 총 개수는 493개이며, 그 중에서 분할형 고정축 형

판에 존재하는 몇 가지 기능특성들에 대한 절차적인 지식을 부분적으로 예를 들면 다음과 같다. 분할형 고정축 형판의 형판 및 캐비티 기능에서 인서트용 포켓의 형상특징이 각형이라는 것이 인식되면, 형판의 크기 및 요구하는 치수 정도에 따라서 가공공정, 대안 공작기계 및 절삭공구가 결정된다. 지식을 IF~THEN 형식으로 나타냈을 때 규칙의 예는 다음과 같으며, 지식 중에서 형판치수를 비교할 때 사용한 약호 A는 형판의 가로, B는 형판의 세로이고 공작기계는 부호를 사용하였다.

- ① IF(Insert용 포켓이 각형) and  
(형판치수가  $A \leq 500$  and  $B \leq 300$ )  
THEN(공작기계 MS, NM, MU, 절삭공구 center\_drill, drill, endmill[FEM])
- ② IF(Insert용 포켓이 각형) and  
[형판치수가( $500 < A \leq 700$  and  $B \leq 300$ )  
or ( $A \leq 500$  and  $300 < B \leq 400$ )  
or ( $500 < A \leq 700$  and  $300 < B \leq 400$ )]  
THEN (공작기계 NM, MU, NL,  
절삭공구 center\_drill, drill, endmill  
[FEM])

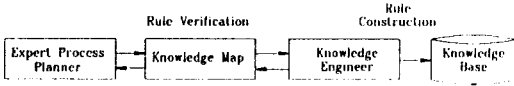
### (2) 지식의 검증

각 부품별로 획득된 지식들은 다음과 같은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다.

- ① 부품의 형상특징과 가공공정 사이에 1대1의 대응관계가 성립하지 않기 때문에, 공작기계의 작업능력 수준에서 보느냐 또는 부품의 형태 수준에서 보느냐에 따라서 대응관계가 크게 다르다.
- ② 지식베이스를 구축하기 위해서 단순히 경험적 지식의 획득에 치중하고 있는 경향이 있다.
- ③ 인터뷰할 때 지식공학자는 어떤 기준에 의해서 공정계획자에게 질문을 하는것이 아니라 예제도면을 통해서 지식을 획득하기 때문에 일관성이 부족하다.



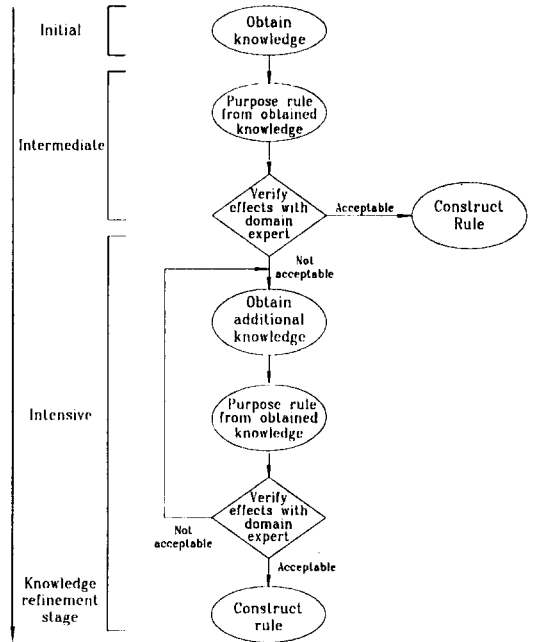
- ④ 구문 또는 의미상의 실수가 포함된 지식을 사용해서 이미 구축한 지식베이스를 다시 검증하는 것은 매우 번거로운 작업이며 전문가시스템 개발에 많은 시간이 소요된다.
- 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해서 본 연구에서는 <Fig. 7>과 같은 접근방법을 사용하였다.



<Fig. 7> Conceptual Model for Rule Verification

지식베이스를 구축하기 전에 지식들을 검증하는 것과 생산설비 및 가공기술의 변화에 대해서 이미 구축된 지식베이스에 수정 및 보완을 할 때 지식들을 일관성 있게 수정하기 위해 도입한 Knowledge Map의 개념을 사용한 지식 검증 과정을 <Fig. 8>에 나타내었다(Lu, 1987).

지식검증 단계는 초기단계, 중간단계, 심화단계로 구성되어 있다. 초기단계는 공정계획 전문가와 지식공학자 사이의 인터뷰는 거의 없고, 다른 지식의 원천으로부터 문제를 이해한다. 즉 일반적인 문제의 정의 및 변수 그리고 문제의 목표와 변수와의 관계를 정립한다. 이 단계는 과연 문제가 전문가시스템 개발에 합당한가를 검증하고 지식공학자에게 문제영역에서의 일반적인 지식의 배경을 소개하는 것이다. 초기단계에서 수집된 지식들은 공정계획에서 아직까지 완전한 지식이 아니기 때문에, 지식검증의 중간단계에서 공정계획 전문가와 인터뷰를 통해서 더욱 세분화된다. 중간단계의 마지막에서는 Knowledge Map을 사용해서 획득된 지식들을 검증한다. 이때 지식공학자와 전문가의 의견이 일치하면 지식베이스로 구축되고, 불일치하면 부가적인 지식획득을 위해서 심화단계로 넘어간다. 지식검증의 마지막 단계인 심화단계에서는 공정계획 전문가와의 더욱 자세한



<Fig. 8> Stages of Rule Verification

인터뷰가 수행된다. 이 단계에서 획득된 지식들은 일련의 문장 형태로 되며, 지식베이스 구축을 위한 기초가 된다. 또한 이 단계에서 공정계획 전문가의 경험적 지식들이 포함되며 지식베이스를 구축하기 전에 Knowledge Map을 이용해서 지식검증이 수행 되어져야 한다.

Knowledge Map은 규칙을 구축해 가는 동안에 구문 또는 의미상의 문제가 발생하면 공정설계전문가와 지식공학자는 각각 Knowledge Map을 이용해서 규칙을 분류함으로써 해결할 수 있다. 만약 공정설계전문가와 지식공학자가 규칙의 분류에서 의견이 일치하지 않았다면, 두 사람의 의견이 일치할 때까지 계속 수정을 한다. 이때 지식공학자는 일치된 의견을 의사결정규칙으로 확정한다.

본 연구에서는 의사결정규칙을 사전에 검증하기 위해서 Knowledge Map을 3차원 개념으로 개발하였다. 개발된 Knowledge Map의 개념도는 <Fig. 9>와 같으며 Knowledge Map이 나타내는 3차원의 각 방향

Classification	Part Name	Plate			
		Unified Type Cavity Plate	Unified Type Core Plate	Split Type Cavity Plate	Split Type Core Plate
Functional characteristics					
A. Plate and Cavity Function		◇	◇	◇	◇
A-1. Plastic Part		○	○	○	○
A-1-1. Two Dim. Shape		△	△	△	△
A-1-2. Three Dim. Shape		△	△	△	△
A-1-3. Circular Shape		△	△	△	△
A-1-4. Square Pocket Shape(Insert Pocket)		△	△	△	△
A-1-5. Circular Pocket Shape(Insert Pocket)		△	△	△	△
.					
.					
.					

**Remark**  
 ◇:FUNCTION always exists  
 ○:Related Shape always exists  
 △:Related shape conditionally exists

Functional characteristics	Task	Process	Sequence	Machine Tool	Cutting Tool
A-1-2. Three Dim. Shape		UCOP-P-A-1-2	UCOP-S-A-1-2	UCOP-M-A-1-2	UCOP-T-A-1-2

(Fig. 9) Concept of Knowledge Map

중 X축은 금형에서의 10개 부품명, Y축은 금형 각 부품에 존재하는 기능특성, 그리고 Z축은 부품별 각 기능특성에 관련된 공정설계의 처리과제를 나타낸다. Knowledge Map에서 어떤 기능특성에 속하는 형상에 대한 처리과제는 유일하게 그 위치가 정해지며, 위치를 나타내는 코드를 정해 줄 수 있다. 예를 들어서 일체형 가동측 형판의 형판 및 캐비티 기능 중에서 3차원 성형부 형상을 가공하는 공작기계에 대한 위치를 찾아보면 다음과 같다. (Fig. 9)의 개념도에 따라서 일체형 가동측 형판과 3차원 성형부 형상이 만나는 곳에서 해당되는 처리 과제인 공작 기계는 UCOP-M-A-A-2가 찾아지고 해당 자료를 참조하면 UCOP-M-A-A-2라는 코드는 “일체형 가동측 형판의 형판 및 캐비티 기능 중에서 3차원 성형부 형상을 가공하는 공작기계는 밀링 머신”이라는 내

용에 연결되어 있다.

(3) 지식의 표현

본 연구에서는 획득한 지식들을 IF~THEN 형식으로 나타내어 Rule-based된 공정계획용 전문가시스템을 개발하였다. Production Rule을 선택한 이유는 전문가시스템을 개발하기 위해 사용한 셀인 CLIPS (Giattatano, 1988)가 Production Rule에 기초를 둔 시스템이기 때문이며 또한 이것이 지식의 변경, 수정에 용이하고 시스템의 확장성이 뛰어난 점, 지식의 표현이 명확한 점, 사용자에게 친숙한 점, 유연성이 높은 점 등 소위 지식의 모듈성이 높은 것에 따른 이점을 갖고 있기 때문이다.

지식의 획득과정에서 수집된 각 부품별 지식들

중에서 예를 들었던 분할형 고정축 형판의 부분적인 지식을 CLIPS로 코드화하면 다음과 같다.

```

① (defrule rule_012
  (decision for DCAP)
  (or (moldbase exist)
      (a square-pocket yes))
  (psa ? a)
  (psb ? b)
=>
  (if (&& (<= ? a 500) (<= ? b 300))
  then (assert (process pocket-for-insert[fine] machine
              MS, NM, MU
              cutting_tool center_drill drill endmill
              [FEM] note none))))

② (defrule rule_013
  (decision for DCAP)
  (or (moldbase exist)
      (moldbase not exist))
  (a square-pocket yes)
  (psa ? a)
  (psb ? b)
=>
  (if (((&& (&& (> ? a 500) (<= ? a 700)) (<= ? b 300))
      (&& (<= ? a 500))
      (&& (&& (> ? a 500) (<= ? a 700))
      (&& (> ? b 300) (<= ? b 400))))
  then (assert (proce ss pocket-for-insert[fine] machine
              NM, MU, NL
              cutting_tool center_drill drill endmill
              [FEM] note none))))
    
```

### 3.4.2 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서 결정

각 부품에 존재하는 제조특징과 비형상특징 정보를 인식하고 나면 구축한 지식베이스를 이용해서 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서를 결정하게 된다. 의사결정의 한 예를 설명하면 다음과 같다.

#### ① 제조특징의 종류

인식제조특징 화일로부터 4개의 필드(field)를 한번에 한 줄씩 구분해 읽은 후, 존재하는 제조특징을 전문가시스템 셸인 CLIPS(Giattatano, 1988)의 fact-list에 저장하게 된다. 이것들은 규칙(rule)이름 'readln'에서 수행되며 각 부분의 내용은 다음과 같다.

```

(defrule readln
  (gobsub DCAP)
  (reading)
  ? rem_1 <=(start)
  ? rem_2 <=(read from_file)
=>
  (retract ? rem_1)
  (bind ?input1 (read mydata))
  (bind ?input2 (read mydata))
  (bind ?input3 (read mydata))
  (bind ?input4 (read mydata))
  (if (neq ?input1 EOF)
  then
  (assert (a ?input2 yes ?input1)) fact의 생성
  else
  (close mydata) (retract ?rem_2) (assert (open_start2))))
    
```

제조 특징  
화일로부터의  
입력부분

#### ② 생성된 fact로부터의 의사결정

앞에서 생성된 fact로부터 가공공정, 대안 공작기계 및 절삭공구의 선택이 이루어 지는 규칙 rule 019는 다음과 같다.

```

(defrule rule_019
  (decision for DCAP)
  (or (moldbase exist) (moldbase not exist))
  (a square-pocket yes ?)
  (a cotter yes ?) 제조특징 화일로부터
  생성된 fact
  (psa ? a) (psb ? b)
=>
  (if (&& (<= ?a 500) (<= ? b 300))
  then
  (assert (process cotter-shape
    
```

machine MS,NM,MU  
cutting\_tool center\_drill  
endmill[FEM]  
note none))))

} 선택된  
결과를  
fact로  
저장

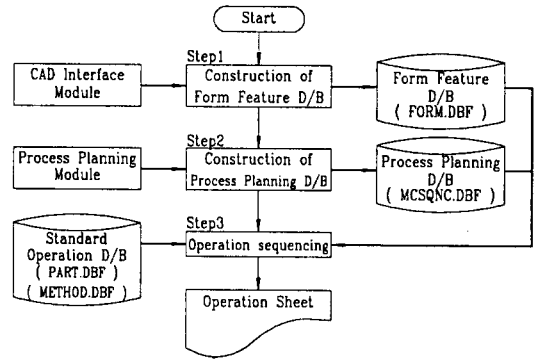
본 연구에서 구축한 공정계획용 제조 지식베이스에 의해서 각 부품에 존재하는 제조특징과 비형상특징을 가공하는 데 필요한 가공공정, 공작기계 및 절삭공구는 선택되었지만, 가공공정의 순서는 고려되지 않았다. 사출금형 각 부품의 제조과정을 살펴보면, 각 부품별로 기본적인 가공공정 순서가 있고 예외적인 경우가 발생하면 공정계획 전문가가 기본적인 가공공정 순서를 조정하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 기본적인 흐름을 지식베이스로 구축하고, 예외적인 경우가 발생할 때에는 예외 조건을 처리하는 규칙을 생성하였다.

지식베이스에 의해서 가공공정 순서가 결정되는 예를 분할형 고정축 형판을 대상으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 공정계획 전문가로부터 그 순서를 획득해서 지식베이스로 구축해 놓고, 예외 조건으로 금형의 어긋남 방지를 위해서 테이퍼진 인터록 형상이 있다면, 냉각수 구멍을 가공하기 위한 DG(Gun Drill) 작업이 테이퍼진 인터록 형상을 가공하기 전에 수행되어야 한다. 왜냐하면 DG 작업을 하기 위해서는 원재료의 표면 상태가 직각을 유지해야만하기 때문이다.

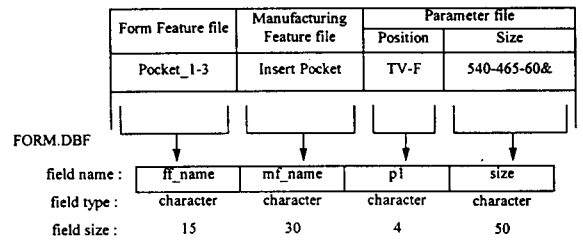
따라서 본 연구에서 위의 예와 같이 받침판이 없는 2단 사출금형 10개의 부품에 대한 가공공정 순서 결정 지식베이스와 예외조건들을 공정계획 전문가로부터 획득하여 체계화하였다.

### 3.4.3 절삭공구 교환을 최소화하는 작업순서 결정

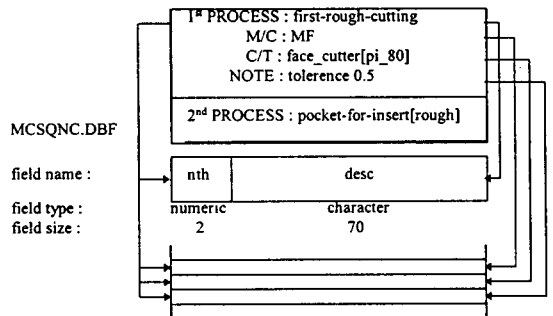
절삭공구 교환을 최소화하는 세부 작업순서를 결



<Fig. 10> Information Flow of Operation Sequencing for Minimizing Cutting Tool Changes



<Fig. 11> Database Structure for Form Features

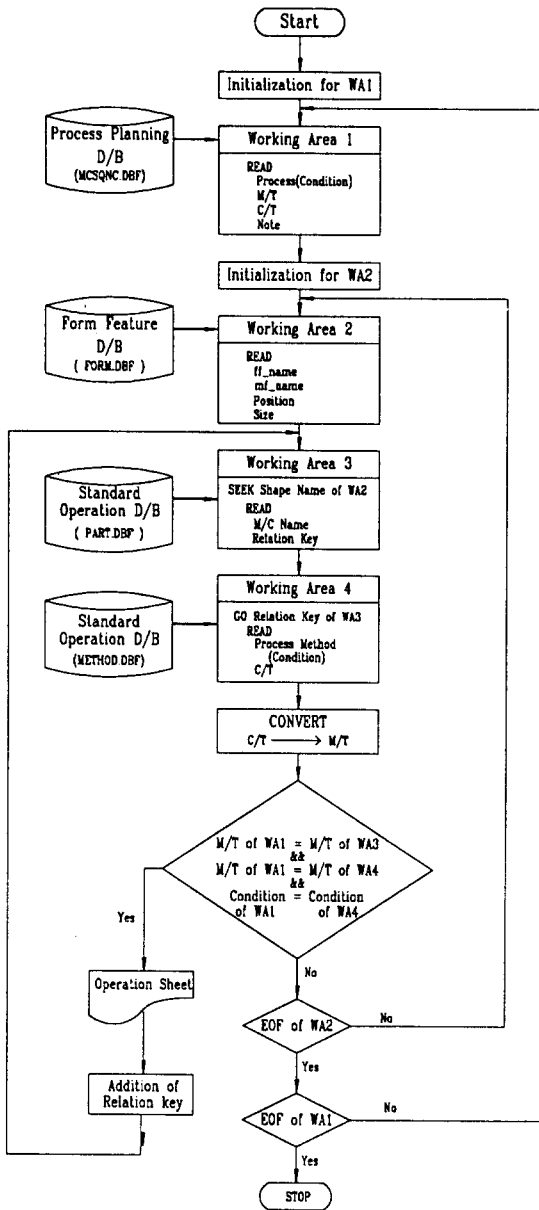


<Fig. 12> Database Structure for Process Planning

정하기 위한 정보흐름의 개략도는 <Fig. 10>과 같으며, 정보의 흐름을 기술하면 다음과 같다.

단계 1 : 본 단계에서는 CAD 인터페이스 모듈로부터 출력된 형상특징 화일들을 이용해서 <Fig. 11>과 같은 양식으로 임시(Temporary) 형상특징 데이터베이스를 구축한다.

단계 2 : 본 단계에서는 공정계획 모듈로부터 출



(Fig. 13) Algorithm of Operation Sequencing for Minimizing Cutting Tool Changes

려된 공정계획 화일의 필드, 즉 가공공정(Process), 공작기계(Machine Tool : M/C), 절삭공구(Cutting Tool : C/T), 비고(Note)를 제공받아 (Fig. 12)와 같은 양식으로 임시 공정계획 데이터베이스를 구축

한다.

단계 3 : 형상특징 가공 표준화로부터 구축한 가공표준 데이터베이스와 CAD 인터페이스 모듈로부터 구축한 임시 형상특징 데이터베이스 및 공정계획 모듈로부터 구축한 임시 공정계획 데이터베이스를 이용하여 (Fig. 13)과 같은 절삭공구 교환을 최소화 하는 알고리즘으로 세부 작업순서를 결정하고 작업 지시서를 출력한다.

## 4. 사례연구 및 고찰

### 4.1 사례연구

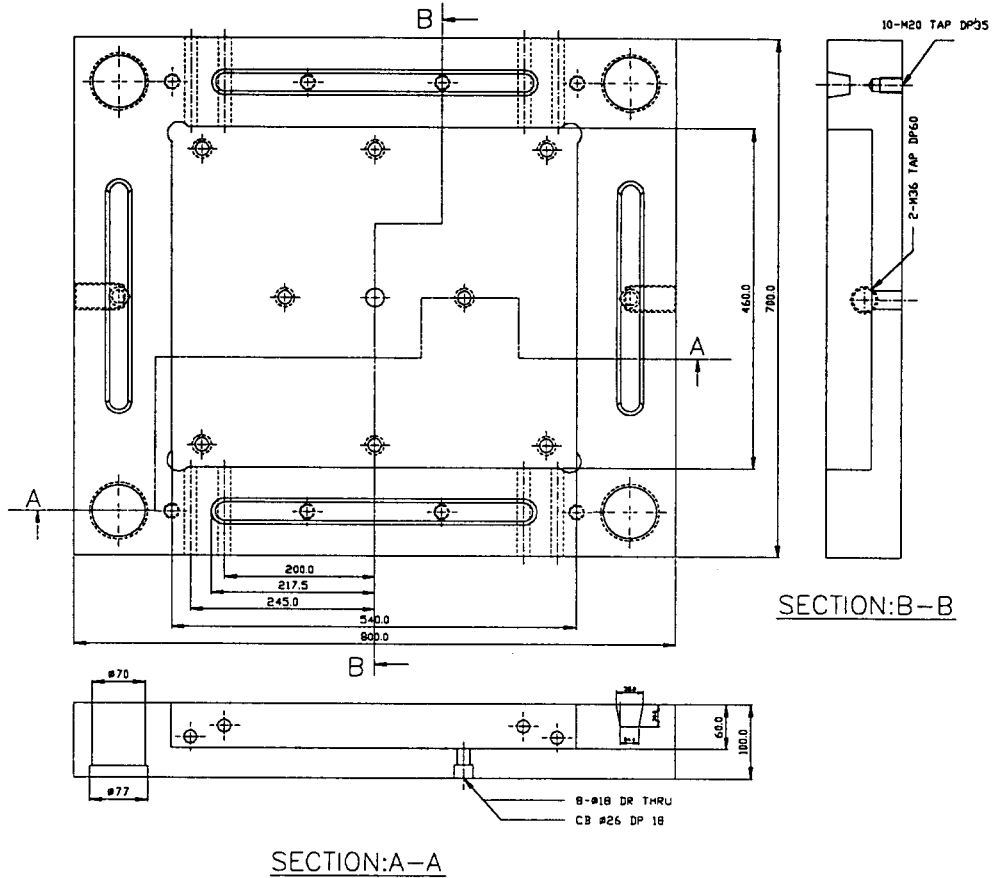
본 연구에서 개발한 MOLDCAPP시스템을 평가하기 위해서 받침판이 없는 2단 사출금형의 다양한 부품들을 대상으로 시스템을 분석하였는데, 그 중에서 (Fig. 14)의 분할형 고정축 형판을 사례연구 대상도면으로 선택하였다.

MOLDCAPP시스템의 모든 실행이 컴퓨터 내부에서 수행되어지기 때문에, 사용자는 단지 공정계획의 결과인 공정표와 작업지시서만 보게 된다. 사례연구 대상도면을 이용해서 구체적으로 시스템의 단계별 처리 과정을 설명하면 다음과 같다.

먼저 부품 설계자가 대상부품을 CAD시스템인 AutoCAD를 이용해서 부품도를 완성하며, DXF 화일을 생성한다.

단계 1 : DXF 화일에 제공된 도면요소 정보를 직선, 원호 및 원을 총별로 분리해서 새로운 데이터 화일을 생성하며, 부품도면의 표제란에 있는 사출금형 Set 및 부품에 대한 정보를 DXF에서 읽어서 Set 화일과 부품 화일을 생성한다.

단계 2 : 총별로 분리된 도면요소 화일을 이용해서 부품에 존재하는 형상특징 및 형상인자를 인식 알



〈Fig. 14〉 Part Drawing of a Split Cavity Plate

고리춤에 의해서 인식한다.

단계 3 : 인식된 형상특징들이 갖는 제조특징을 인식구조체와 규칙베이스에 의해서 인식한다. 인식한 결과 화일인 제조특징 화일을 나타내면 〈Fig. 15〉와 같다.

단계 4 : 전문가시스템은 구축된 지식베이스를 사용해서 인식된 제조특징들과 사용자로부터 입력된 자유곡면 형상특징들을 가공하기 위한 가공공정, 대안 공작기계, 절삭공구 및 가공공정 순서를 의사결정해서 공정설계 화일을 〈Fig. 16〉과 같이 생성한다.

단계 5 : 각각의 제조특징들을 가공하기 위한 대안 공작기계들 중에서 최적의 공작기계 선정기준은 확장된 퍼지이론의 Max-min개념에 의해서 정량적으로

Id No	Manufacturing Feature	Form Feature No	Pointer
1	(a pocket-for-insert yes)	24	0
2	(a depth-pocket-to-plate yes)	24	0
3	(a eye-bolt-hole yes)	37	0
4	(a eye-bolt-size yes)	37	0
5	(a guide-pin-hole yes)	2	0
6	(a hole-of-assembly-bolt yes)	6	1
7	(a hole-of-assembly-bolt yes)	14	0
8	(a cotter yes)	25	0
9	(a sprue-bush-hole yes)	1	1
10	(a cooling-channel yes)	29	0
11	(a depth-cooling-channel yes)	29	0

〈Fig. 15〉 An Example of Manufacturing Feature file

```

1st PROCESS : first-rough-cutting
M/C : MF,MR,MP C/T : face_cutter[pi_80]
2nd PROCESS : pocket-for-insert[rough]
M/C : MU,NM,MB C/T : center_drill drill endmill[HEM]
3th PROCESS : second-rough-cutting
M/C : MF,MR,MP C/T : face_cutter[pi_80]
4th PROCESS : pocket-for-insert[fine]
M/C : MU,NM,MB C/T : center_drill drill endmill[FEM]
5th PROCESS : cotter-shape
M/C : ML,NM,MU C/T : center_drill drill endmill[FEM]
6th PROCESS : guide-pin-hole
M/C : MB,NM,MU C/T : center_drill drill reamer
7th PROCESS : hole-of-assembly-bolt
M/C : ML,NM,MU C/T : center_drill drill tab
8th PROCESS : sprue-bush-hole
M/C : ML,NM,MB C/T : center_drill drill reamer
9th PROCESS : cooling-channel-hole
M/C : DG C/T : gun_drill pt_tab
10th PROCESS : eye-bolt-hole
M/C : DR,MB C/T : center_drill drill tab
11th PROCESS : finishing-process
M/C : AS C/T : sand_paper tab[M4,M6]
    
```

<Fig. 16> An Example of Process Design file

나타내어 공작기계를 결정한다. 각 제조특징마다 최적 공작기계를 결정해서 공정계획 화일을 생성한 후 공정표를 출력하는데, 이를 나타내면 <Fig. 17> 및 <Fig. 18>과 같다.

단계 6 : 공작기계 선정단계의 결과인 공정계획 화일과 형상특징 화일 및 이미 구축한 가공표준 데이터베이스를 사용해서 절삭공구 교환을 최소화하는 작업순서 결정 알고리즘에 의해서 세부 작업지시서를 생성한다. 이것을 도식화하면 <Fig. 19>와 같다.

## 4.2 개발된 시스템에 대한 고찰

MOLDCAPP시스템의 최종 출력인 공정표에는 대 상부품의 특징을 가공하기 위한 가공공정, 가공공정

```

1st PROCESS : first-rough-cutting
M/C : MF, C/T : face_cutter[pi_80]
2nd PROCESS : pocket-for-insert[rough]
M/C : NM, C/T : center_drill drill endmill[HEM]
3th PROCESS : second-rough-cutting
M/C : MF, C/T : face_cutter[pi_80]
4th PROCESS : pocket-for-insert[fine]
M/C : NM, C/T : center_drill drill endmill[FEM]
5th PROCESS : cotter-shape
M/C : NM, C/T : center_drill drill endmill[FEM]
6th PROCESS : guide-pin-hole
M/C : NM, C/T : center_drill drill reamer
7th PROCESS : hole-of-assembly-bolt
M/C : NM, C/T : center_drill drill tab
8th PROCESS : sprue-bush-hole
M/C : NM, C/T : center_drill drill reamer
9th PROCESS : cooling-channel-hole
M/C : DG, C/T : gun_drill pt_tab
10th PROCESS : eye-bolt-hole
M/C : DR, C/T : center drill drill tab
11th PROCESS : finishing-process
M/C : AS, C/T : sand_paper tab[M4,M6]
    
```

<Fig. 17> An Example of Process Planning file

순서, 공작기계 및 절삭공구가 제시되었는데, 그 중 에서 평면밀링(MF)에 의해서 평면가공을 두 번 가 공한 이유는 Pocket 형상의 깊이가 형판치수의 1/2 이상이면 가공변형이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위해서이다.

MOLDCAPP시스템의 출력결과에 대한 타당성 조 사를 위해서 산업체의 공정계획 전문가에게 동일한 사례도면을 제시하고 공정계획을 수행하게 하여 MOLDCAPP시스템의 결과와 비교 검토한 결과와 일치 되었으며, 또한 실제 공정계획에 소요되는 시 간을 비교해 본 결과 전문가는 30분 정도, 초보자는 2시간 정도 소요되었는데, 시스템은 15분 정도 소요 되었기 때문에 그 타당성과 유효성을 입증할 수 있 었다.

***** ROUTING SHEET *****				
Product No. : 071DA Product Name : Name Plate-H Model : 3J06922 Die No. : OCMJ071 Beg. Data : 1993. 4. 2			Part No. : 5 Part Name : DCAP Material : SM55C Part Size : 800*700*100 Due Date : 1993. 6. 28	
No	Processes Description	Machine Tools	Cutting Tools	Remark
1	first-rough-cutting	MF	face_cutter[ 80]	
2	pocket-for-insert[rough]	NM	center_drill,drill,endmill[HEM]	
3	second-rough-cutting	MF	face_cutter[ 80]	
4	pocket-for-insert[fine]	NM	center_drill,drill,endmill[FEM]	
5	cotter-shape	NM	center_drill,drill,endmill[FEM]	
6	guide-pin-hole	NM	center_drill,reamer	
7	hole-of-assembly-bolt	NM	center_drill,drill,tab	
8	sprue-bush-hole	NM	center_drill,drill,reamer	
9	cooling-channel-hole	DG	gun_drill	
10	eye-bolt-hole	DR	center_drill,drill,tab	
11	finishing-process	AS	sand_paper,tab[M4,M6]	

〈Fig. 18〉 Routing Sheet

## 5. 결 론

본 연구는 CAD시스템을 통하여 비회전형상 부품의 도면이 주어질 때, 자동 및 대화형으로 인식된 특징 형상들을 가공하기 위해서 공정계획 전문가로부터 구축한 지식베이스를 사용해서 자동적으로 공정계획을 수행하는 전문가시스템인 MOLDCAPP을 개발하였다. MOLDCAPP시스템의 개발시 CAD시스템은 AutoCAD시스템을 사용하였고, 공정계획 전문가시스템은 CLIPS(Version 4.2)을 사용해서 IBM PC 상에서 수행되도록 시스템을 개발했다.

MOLDCAPP시스템을 개발함으로써 공정계획 소요시간 단축에 의한 납기 단축 및 효율성 향상, 의

사결정 규칙은 작업장의 특성에 따라 변경 가능하므로, 타 분야 응용을 위한 기반 확립 및 저가인 PC급 컴퓨터에서 시스템을 개발함에 따라 중소기업에서 사용이 가능하다.

보다 통합적이고 지능적인 공정계획시스템을 개발하기 위해서는 본 연구결과를 기초로 하여 다음과 같은 사항에 대해서 지속적인 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

첫째, 표준시간 산출, 절삭조건 등에 관한 연구가 진행되어야 한다.

둘째, 현재 3차원의 성형부위는 2차원 CAD 시스템 사용으로 인해 인식이 불가능하여 사용자를 통한 형상정보를 입력하고 있다. 따라서 2차원 CAD 시스템보다는 3차원 CAD 시스템을 활용하여 다양한



OPERATION SHEET				
No	M/C	Form Feature	Operations	Cutting Tool
1	MF	·	육면 1차 면삭 가공	face_cutter( 80)
2	NM	Hole_4-11	center drilling - 구멍의 중심위치에 자리내기	center_drill( 2.5)
		Hole_4-11	guide pin, 조립용 볼트 구멍 drilling (관통)	drill( 9)
		Pocket_1-3	E/M 가공용 기초구멍 drilling(바닥여유 0.5, 중심위치)	drill( 25)
		Pocket_1-5	E/M 가공용 기초구멍 drilling	drill( 25)
		:	:	:
		:	:	:
		Pocket_1-3	Insert Pocket 외곽증삭 가공(외곽여유 0.2, F 70) - 모서리 가공용 E/M휠으로 인한 파절삭 방지	FEM( 25)
3	MF	·	육면 2차 면삭 가공	face_cutter( 80)
4	NM	Pocket_1-3	Insert Pocket 외곽 정삭가공(완성치수, 외곽3회가공,F100/140)	FEM( 25)
5	NM	Pocket_1-5	Cotter Pocket 정삭가공 (완성치수, F 100)	FEM( 25)
6	NM	Hole_4-11	guide pin 구멍 카운트 보링	drill( 14)
7	NM	Hole_4-11	조립용 볼트 구멍 카운트 보링	drill( 14),tab(M8)
8	NM	Hole_4-8	sprue bush 구멍 정삭가공	drill( 25),reamer
9	DG	Hole_4-11	냉각수 구멍 가공(F 60/70)	gun_drill( 10)
10	DR	·	eye-bolt 구멍 가공	drill( 35),tab(M36)
11	AS	·	사상 및 조립	sand paper,tab

<Fig. 19> Operation Sheet

입체 형상을 인식할 수 있는 연구가 병행되어야 한다.

### 참고 문헌

조규갑, 김석재, “제조특징인식에 의한 CAD/CAPP시스템”, 한국정밀공학회지, 제8권, 제1호(1991), 105-115.

조규갑, 임주택, 노형민, “사출금형의 공정설계 전문가시스템의 개발”, 대한기계학회논문집, 제16권, 제12호 (1992), 2252-2260.

조규갑 외, “사출금형구조의 자동분류코딩시스템 개발”,

한국정밀학회지, 제6권, 제3호(1989), 60-67.

조규갑 외, CAD 인터페이스된 사출금형 공정설계 전문가 시스템 개발, 한국학술진흥재단 연구보고서, 1992

한국과학기술원, 사출금형의 가공자동화를 위한 공정 설계시스템 개발, 과학기술처 연구보고서, N762(4)-42 38-2, 1991.

홍명웅 譯, 사출금형의 기본과 응용, 기전연구사, 1985.

Alting, L. and Zhang, H., “Computer Aided Process Planning : The state-of-the-art survey”, *International*

*Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 4(1989), 553-585.

Chang, T. C., Wysk, R. A., and Wang, H. P., *Computer-Aided Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc., 1991.

Descotte, Y. and Latombe, J. C., "GARI : A Problem Solver that Plans How to Machine Mechanical Parts", *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vancouver, Canada, 1981.

Eversheim, W., and Schneewind, J., "Computer-Aided Process Planing - State of the Art and Future Development", *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 10, No. 1/2 (1993), 65-70.

Giattatano, J. C., *CLIPS User's Guide*, AI Section, L. B. Johnson Space Center, 1988.

Henderson, M. R., *Extraction of Feature Information from Three Dimensional CAD Data*, Ph. D Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1984.

Ihara, T. and Ito, Y., "A New Concept of CAPP Based on Flair of Experienced Engineers-Analysis of Decision-Making Processes of Experienced Process Engineers", *Annals of the CIRP*, Vol. 40/1(1991), 437-440.

Jones, F. H., and Martin L., *The AutoCAD Database Book*, Ventana Press, 1987.

Joshi, S., *CAD Interface for Automated Process Planning*, Ph. D Thesis, Purdue University, 1987.

Joshi, S. B. and Chang, T. C., "CAD Interface for Automated Process Planning", *Proceedings of the 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems(1987)*, 39-45.

Lu, S. C-Y, "Knowledge Map : An Approach to Knowledge Acquisition in Developing Engineering Expert Systems", *Engineering with Computer*, Vol. 3(1987), 59-68.

Madurai, S. S. and Lin, L., "Rule-Based Automatic Part Feature Extraction and Recogniton from CAD Data", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 22, No. 1(1992), 49-62.

Mark, M., *Stepping into AutoCAD*, New Rides Publishing, 1989.

Shah, J. J., "Features in Design and Manufacturing", *Intelligent Design and Manufacturing(1992)*, 39-71.

Wong, T. N. and Siu, S. L., "An Automated Process Planning System for Prismatic Parts", *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 5, No. 4/5(1992), 319-333.