

본 연구는 88년 문교부 해외파견연구계획의 지원으로 수행한 것으로 이에 감사드리며, 특히 연구를 적극 지원해 주신 미국 일리노이대학교 기계및 산업공학과와 S. C-Y Lu 교수께 감사드립니다.

지식베이스를 사용한 자동공정계획  
시스템의 개발

조 규갑\*, 오 수철\*

**A Knowledge-Based Computer Aided Process Planning System**

Kyu-Kab Cho, Soo-Cheol Oh

**Abstract**

This paper presents a knowledge-based computer aided process planning system that automatically selects machine tools, machining operations and cutting tools and determines sequences of the machining operations for prismatic parts in die manufacturing.

In the proposed system, parts are described by manufacturing features and grouped into part families based on the functions. Each part is represented by a part frame which consists of basic data and manufacturing features. Knowledge for manufacturing is acquired from the domain expert and represented by frames.

A decision model for selection of machine tools, machining operations and cutting tools and for determining sequences of the machining operations are developed by employing the Mealy machine in finite automata with output. The decision procedure and the order of priority which inputs manufacturing features into the Mealy machine are represented by rule for each part family. Backward chaining is used for the proposed system.

The proposed system is implemented by using TURBO-PROLOG on the IBM PC/AT. A case study for the slide core is presented to show the function of the proposed system.

\*부산대학교 산업공학과

## 1. 서 론

기계제조분야에서 공정계획은 부품의 설계데이터로부터 소재를 제품으로 변환하는데 필요한 상세한 작업 지시를 얻는 계획을 의미하며, 이것은 설계와 제조를 연결하는 주요한 역할을 한다. 기계제조업체와 같은 다품종소량생산에서 컴퓨터통합생산시스템의 구축을 위해서는 CAD와 CAM을 연결하는 공정계획기능의 자동화가 필요하다[1, 2]. 특히 공정계획은 전문가의 경험을 절대적으로 필요로 하는 분야이며, 오늘날 기업에서 경험있는 공정계획 전문가가 부족한 현실에서 자동공정계획(Computer Aided Process Planning; CAPP)시스템을 개발해야 할 필요성이 증대되고 있다.

컴퓨터화된 자동화기술의 급속한 발달과 더불어 CAPP에 대해서 지난 20여년 동안 변성형, 준창성형, 창성형의 3가지 접근방법을 사용한 여러가지 CAPP시스템이 개발되었다[3]. 특히 1980년대에 들어와서는 인공지능의 응용에 관한 연구가 많이 진행되어 CAPP 분야에도 인공지능을 이용한 접근방법이 도입되었다. 경험있는 공정계획전문가의 지식은 실제적인 공정계획을 생성하는데 중요한 역할을 하며, 보편성이 있고 변화하지 않는 지식은 쉽게 체계화할 수 있으나 기술자나 숙련자의 지식은 쉽게 체계화하기 힘들다. 이를 해결하기 위한 하나의 접근방법이 전문가시스템을 이용한 CAPP시스템의 개발이다[4-6].

본 연구에서는 그룹테크놀로지(Group Technology; GT)의 개념, 제조특징의 개념 및 오토마타 이론을 도입하여 지식베이스 공정계획시스템을 비회전 형상의 사출금형부품을 대상으로 하여 개발한다. 제조지식과 의사결정논리를 기본으로 하여 규칙(Rule)과 프레임(Frame)을 이용한 지식베이스를 구축하고, 부품의 구성데이터를 대화식으로 입력하여 부품의 가공에 필요한 가공작업의 선정과 선정된 가공작업을 수행할 동작기계 및 공구의 선정 그리고 가공작업의 순서를 결정한다.

본 연구에서 제안한 공정설계용 전문가시스템의 컴퓨터 프로그램은 TURBO-PROLOG를 이용하여 IBM PC/AT에서 대화형으로 개발하였고, 사례연구를 통하여 개발된 시스템이 공정계획을 효율적으로 수립할 수 있음을 제시한다.

## 2. 공정계획에서 의사결정을 위한 개념적 모델

본 연구에서 고려하는 공정계획활동에 대한 의사결정의 대상은 기계가공부품의 가공에 필요한 동작기계 선정, 가공작업의 선정, 가공작업의 수행에 필요한 공구의 선정 및 가공작업순서의 결정 등 4가지이며, 이러한 의사결정을 수행하는 모델을 오토마타 이론[7]을 적용하여 개발한다. 현재까지 오토마타 이론을 공정계획에 대한 전문가시스템에 적용한 것으로는 일련의 입력이 주어졌을때 시스템이 최종적으로 도달하는 상태를 잘 나타낼 수 있는 '출력을 갖지 않는 유한상태 오토마타(finite state automata)'를 이용하여 지식의 획득과 표현에 적용하고 있다[8, 9].

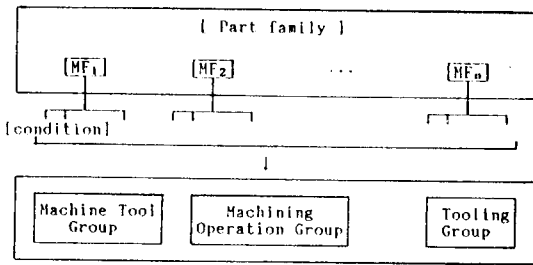
본 연구에서는 일련의 입력이 주어졌을때 일련의 출력을 산출하는 과정을 잘 나타낼 수 있는 '출력을 갖는 유한상태머신(finite state machine; FSM)'을 이용한 의사결정모델을 개발하고자 한다.

일반적으로 FSM은  $M = \langle S, A, f, Z, g \rangle$ 와 같이 표현되며, 여기서 S는 상태의 유한집합, A는 입력의 유한집합, f는 상태전이함수, Z는 출력의 유한집합, g는 출력함수를 나타낸다. FSM에서의 주요 관심사는 일련의 입력에 대응하여 생성되는 일련의 출력에 있으며, FSM에는 현재의 상태에만 의거하여 출력이 생성되는 Moore 머신과 현재의 상태와 입력에 의거하여 출력이 생성되는 Mealy머신으로 구분된다[7].

소재를 주어진 설계도면의 정보에 의해서 부품 또는 제품으로 변환하는데 따르는 상태변환과정에 FSM의 개념을 적용하면 주어진 형상을 다른 형상으로 변환시키는데 필요한 단위작업은 입력요소로 대응시킬 수 있고, 이 단위작업을 처리하는데 필요한 동작기계, 가공작업 및 공구는 최종출력으로 대응시킬 수 있다. 따라서 주어진 상태와 단위작업이라는 입력에 의하여 출력이 결정되므로 공정계획에 대한 의사결정을 Mealy머신의 개념을 적용하여 의사결정모델을 구축한다. FSM의 정의에 따라 의사결정모델을 구축하는데 있어서 갖추어야 할 조건은 입력요소와 출력요소가 한정되어야 하고, 또 입력요소가 우선순위를 가지고 있으면 모델을 단순화시킬 수 있다.

본 연구에서는 대상부품들을 여러개의 부품군(part

family)으로 분류하는데, 하나의 부품군은 단위작업을 나타내는 한정된 개수의 제조특징으로 구성되고 있고, 하나의 제조특징을 처리할 때 부품의 조건에 따라 다른 가공공정이 존재하며 각 가공공정에는 여러대의 공작기계로 구성되는 공작기계 그룹과 가공작업그룹 및 공구그룹이 할당되어 있다. 부품군, 제조특징 및 가공공정의 관계를 나타내면 Fig. 1과 같다. 이와 같이 각 부품군이 유한개의 입력요소 및 출력요소를 가지고 있으며 또 제조특징의 처리에 대한 우선순위를 부여하면 Mealy 머신의 개념을 이용한 공정계획의 의사결정모델이 설정된다.



<Remark> MF<sub>i</sub> : Manufacturing Features (i=1,2,...,n)

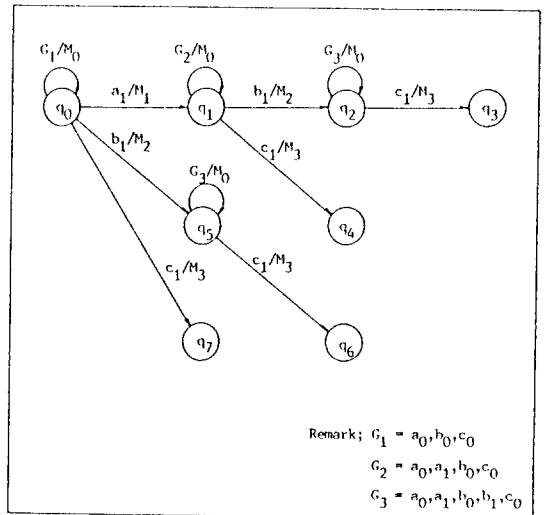
Fig. 1 Relationship of part family, manufacturing features and manufacturing processes

Fig. 2에는 3개의 제조특징을 가지는 하나의 부품군에 대한 의사결정모델을 Mealy 머신의 상태로 나타내었으며, 모델의 구성과 주어진 부품에 대한 의사결정과정을 고찰하기로 한다.

Fig. 2에서 고려하는 부품군은 a, b, c 3개의 제조특징으로 구성되어 있으며, 모델의 입력 A는  $A = \{a_0, a_1, b_0, b_1, c_0, c_1\}$ 로 나타내며, 여기서 첨자는 해당 제조특징이 없는 경우에는 0, 있는 경우에는 1로 나타남을 의미한다. 제조특징들을 모델에 투입할 때 일정한 순서에 따르도록 상태도를 구성하였는데 이 경우에는 a, b, c의 순서에 따르도록 상태도를 구성하였다. 출력  $Z = \{M_0, M_1, M_2, M_3\}$ 로 나타내는데, 여기서  $M_i$ 는 해당 출력이 없음을 나타내고  $M_i (i \geq 1)$ 에는 여러개의 조건이 할당되어 있다. 이러한 조건들은 하나의 제조특징이 투입될 때마다 산출이 된다. 상태의 집합 S는  $S = \{q_i | i=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 이며 임의

의 상태에서 제조특징이 입력되면 상태는 바뀐다. 상태도내의 전체적인 상태의 수는 제조특징의 개수를 n이라 할 때  $2^n$ 이 된다.

주어진 부품에 소요되는 공작기계, 가공작업 및 공구를 결정하기 위해서는 해당되는 부품군에 대응하는 Mealy 머신의 상태도 모델을 이용한다. 예를 들어서 Fig. 2의 상태로 표현되는 부품군에 속하는 하나의 부품이 주어지고, 이 부품은 제조특징 a와 c로 구성되어 있을 때, a와 c는 존재하고 b는 존재하지 않으므로 입력요소들은  $\{a_1, b_0, c_1\}$ 이 된다. 초기상태  $q_0$ 에서 첫번째 입력요소  $a_1$ 이 투입되면 생성되는 출력은  $M_1$ 이 되고 상태는  $q_1$ 으로 바뀐다. 두번째 입력요소  $b_1$ 가 투입되면 출력은  $M_0$ 가 되고 상태는 변화가 없다. 세번째 입력요소  $c_1$ 이 투입되면 출력은  $M_3$ 이 되고 상태는  $q_3$ 로 변한다. 결과적으로 2개의 제조특징 a와 c를 가진 부품을 처리하기 위한 출력은  $M_1, M_3$ 이 되는데, 이때  $M_1, M_3$ 에는 각각 여러개의 조건이 할당되어 있으며 부품의 상태는  $q_0 \rightarrow q_1 \rightarrow q_3$ 의 순서로 변환이 된다. 주어진 상태와 입력요소에 의해 출력이 결정됨과 동시에 모델의 화살표(arc) 단계에서 이루어지는 의사결정의 상세절차는 부품군, 제조특징 및 가공공정의 관계를 이용하여 다음과 같은 절차로 구성된다.



Remark:  $G_1 = a_0, b_0, c_0$   
 $G_2 = a_0, a_1, b_0, c_0$   
 $G_3 = a_0, a_1, b_0, b_1, c_0$

Fig. 2 State diagram of MEALY machine for a part family with 3 manufacturing features

[단계1] 부품에 존재하는 하나의 제조특징을 투입하여 그 제조특징에 대응하는 조건들을 추출한다.

[단계2] 조건들 가운데서 주어진 부품의 조건과 일치하는 하나의 조건을 선택한다.

[단계3] 조건에 연결되어 있는 공작기계그룹, 가공작업그룹 및 공구그룹을 선택한다.

하나의 부품을 가공하는 데는 우선순위 즉 가공작업 순서가 주어져야 하며, 이러한 우선순위는 부품군내의 제조특징들간의 처리의 우선순위와 각각의 제조특징에 대응하는 가공작업그룹내의 선행관계의 두 단계에 의해서 결정된다. 가공작업의 순서결정에 관한 지식은 가공작업의 제약조건에 의한 순서, 기하학적 제약조건에 의한 순서, 공구의 제약조건에 의한 순서, 기하학적 공차의 제약조건에 의한 순서의 범주로 분류할 수 있다[10]. 이러한 4가지 범주에 기준을 두고 연구의 대상이 되는 비회전형상의 금형부품의 가공작업순서에 관한 공정계획자의 경험지식을 획득하여 각 부품군에 포함되어 있는 제조특징들간의 처리의 우선순위를 결정한다. 마찬가지로 각 제조특징에 대응하는 가공작업 그룹내의 가공작업간의 선행관계를 결정하고 공작기계 그룹내의 공작기계간의 선행관계와 공구그룹내의 공구간의 선행관계는 가공작업의 순서에 따라 나열한다.

따라서 주어진 부품의 제조특징들을 사전에 정해진 우선순위에 따라 해당 부품군에 대응하는 Mealy 머신의 상태도 모델에 입력시킨 후, 의사결정절차에 따라 단계1에서 3까지의 과정을 되풀이하고 각각의 제조특징에 대한 산출결과를 종합하면 하나의 부품을 가공하는데 필요한 공작기계그룹, 가공작업그룹, 공구그룹이 얻어지며 각 그룹내에는 공작기계, 가공작업 및 공구들이 순차적으로 정해진다.

### 3. 사출금형부품에 대한 지식베이스 공정계획시스템

본 연구에서 개발한 사출금형부품에 대한 지식베이스 공정계획시스템의 기본구성은 부품서술서브시스템, 지식베이스 및 추론기관으로 구성되어 있다.

#### 3.1 부품서술 서브시스템

부품의 내용을 서술하는 데는 형상특징의 개념[11]을 적용할 수 있으나, 본 연구에서는 형상특징의 개념을 확장시킨 제조특징(Manufacturing Feature; MF)의 개념을 도입하여 부품을 서술하며 하나의 부품은 품번, 품명, 재질, 치수 등의 기본데이터와 제조특징 데이터로 구성된다. 연구대상인 사출금형부품에 존재하는 속성은 구조적 속성, 기능적 속성, 기하학적 속성, 기술적 속성 등으로 구분할 수 있고 이들 속성을 묶어서 제조특징이라 정의하기로 한다. 사출금형부품에 대하여, 구조적 속성은 성형품을 성형하는데 필요한 금형의 구조적인 특징(예로서는 2단 금형 또는 3단 금형, 일체형 또는 분할형)을 말하며, 기하학적 속성은 성형하고자 하는 제품을 구성하는 주요형상(예로서는 2차원 형상, 3차원 형상 또는 원형 형상 등)을 나타내며, 기능적 속성은 성형품을 냉각 또는 취출시키는 등의 기능상의 특징(예로서는 냉각수 구멍, 이젝트핀 구멍 등)을 말하며, 기술적 속성은 금형의 각 부품에 존재하는 형상을 가공하는데 필요한 부수적인 가공공정과 매우 복잡한 형상을 가공하는데 필요한 가공공정(예로서는 선행작업과 특수가공인 방전가공 등)을 나타낸다.

따라서 제조특징은 형상, 기능, 가공방법의 내용을 포함하고 있는데, 위 4가지 속성 가운데 구조적 속성과 기하학적 속성은 형상의 범주에 포함시킬 수 있다. 대상 부품들의 제조특징 데이터는 4가지 속성의 전부 또는 일부의 항목으로 표현된다.

본 연구에서는 사출금형부품 중에서 각각 고유의 기능을 갖고 있는 일체형고정축형판, 분할형고정축형판, 일체형가동축형판, 분할형가동축형판, 고정축코어, 가동축코어, 슬라이드코어, 스페이스블록, 이젝트플레이트, 가동축설치판, 고정축설치판의 11개 형식의 주요 부품 중 속성이 유사한 고정축코어와 가동축코어를 하나로 묶어 기능을 기준으로하여 모두 10개의 부품군을 GT의 개념을 도입하여 형성하였다.

각 부품들은 명칭이 주어지면 어떠한 부품군에 포함되는지 판명된다. 하나의 부품군에 속하는 각 부품들의 제조특징을 발췌하고 취합하면 이 부품군에 포함되는 그룹제조특징(Group Manufacturing Feature; GMF)이 생성되며 공정계획자의 경험지식을 근거로 하

여 10개 부품군에 대한 GMF를 구성하였다.

### 3.2 지식베이스

지식베이스는 부품지식, 제조지식 및 준지식으로 구성되어 있으며 이 중에서 제조지식은 경험있는 공정계획자와의 인터뷰를 통하여 수집하고 부품군 단위로 모델화하여 작업용 기억공간(Working Memory)의 효율적 활용과 제조지식의 관리의 효율화를 기하였다. 부품지식 및 제조지식에 관한 사실은 프레임용, 준지식(Metaknowledge)은 규칙을 사용하여 표현한다.

#### (1) 부품지식

부품에 관한 사실(Fact)은 품번, 품명, 재질, 치수로 구성된 기본데이터와 부품을 구성하는 제조특징데이터를 포함하여 프레임의 형태로 표현한다. Table 1은 하나의 예제부품에 대한 프레임의 형태를 보여주고 있는데 프레임에서 처음 6개의 속성은 기본데이터에 관한 것이고 나머지 6개의 속성은 이 부품이 소속되어 있는 부품군이 가지고 있는 제조특징을 나타내고 있는데 부품이 각각의 제조특징을 가지면 'y', 가지지 않을 때는 'n'이라는 값을 갖는다. 데이터베이스 내에서 이 부품은 다음과 같은 형태로 표현된다.

```
part("9999", "seperated type cavity
plate", "kp4", 30, 40, 50,
["y", "n", "y", "n", "y", "n"]).
```

Table 1. Frame for an example part

Attributes	value
Part number	9999
Part name	Seperated type cavity plate
Material	Kp4
Dimension A (A<B<C)	30
Dimension B (A<B<C)	40
Dimension C (A<B<C)	50
Cylindrical hole	y
Angular hole	n
Machining of runner gate	y
Hole for cooling water	n
General hole	y
Boring operation	n

#### (2) 제조지식

제조에 관한 지식표현은 각 부품군마다 조건프레임, 공작기계프레임, 가공작업프레임, 공구프레임의 4가

지로 구성되며 10개의 부품군에 포함되는 프레임은 모두 1,460개로 이루어진다.

조건프레임은 부품코드, 1차제조특징코드, 연결코드와 공정을 선택하기 위한 조건이 되는 1차 및 2차제조특징의 존재여부와 부품치수 등의 6개의 속성으로 구성된 프레임이다. 주어진 부품의 각각의 제조특징에는 이들 6개 속성의 조합에 따라 여러개의 조건프레임이 존재하며, 주어진 부품에서 하나의 제조특징이 선택되면 여러개의 조건프레임 가운데 부품이 갖고 있는 사실과 이들 속성의 값이 일치하는 하나의 조건프레임이 선택된다.

공작기계, 가공작업 및 공구프레임은 각각 4개의 속성을 갖는데, 이들 프레임과 조건프레임은 공통적인 속성인 부품코드, 1차제조특징코드, 연결코드에 의하여 서로 연결이 된다. 이 공통적인 속성외에 공작기계프레임은 공작기계그룹, 가공작업프레임은 가공작업그룹, 공구프레임은 공구그룹이라는 속성을 각각 갖는다. 가공작업그룹내에는 가공작업들이 전문가의 경험에 의한 우선순위에 따라 나열되어 있으며 공작기계그룹내에는 공작기계들이, 공구그룹내에는 공구들이 각각 가공작업의 순서에 대응하여 나열되어 있다.

하나의 제조특징에 대해서 하나의 조건프레임이 선택되면 조건프레임의 부품코드, 1차제조특징코드, 연결코드의 3가지 속성에 의하여 해당되는 공작기계프레임, 가공작업프레임, 공구프레임과 연결되어 공작기계그룹, 가공작업그룹, 공구그룹이 선택된다.

#### (3) 준지식

준지식의 역할은 의사결정시에 어떠한 부품지식과 제조지식이 언제 추론과정에 포함되어야 하는가를 결정하고, 공정계획을 수행하고자 하는 부품에 대해서 그 부품이 속하는 부품군을 선택한다. 준지식의 핵심은 의사결정모델이며 의사결정모델은 부품군마다 하나의 규칙을 이용하여 표현되고 각 규칙속에는 부품군내의 제조특징들의 처리우선순위의 패턴이 포함되어 있다. 의사결정모델에서 사용하는 의사결정절차는 부품군의 종류에 관계없이 공통적으로 규칙을 이용하여 표현한다. 또한 의사결정절차에 의하여 선택된 공작기계, 가공작업과 공구는 우선순위에 따라 작업용 기억공간에 저장되고 출력이 된다. 준지식은 27개의 규칙을 사용한다.

### 3.3 추론기관

본 연구에서는 시스템의 개발에 TURBO-PROLOG 언어를 사용하는데 PROLOG는 백트래킹(Backtracking)이라는 중요한 탐색기법을 내장하고 있다. 백트래킹은 후진적 인쇄를 사용하며 문제에 대한 또 다른 해를 찾을 수 있게 한다. 본 연구에서는 PROLOG가 제공하는 깊이우선탐색을 사용하며 제어전략은 후진적 인쇄를 사용한다.

### 3.4 사례연구

사례연구를 위하여 Fig. 3에 표시한 비회전형상의 사출금형부품에 대하여 개발한 시스템을 적용해 본다. Fig. 4는 기본데이터와 최대 15가지 제조특징을 가질 수 있는 부품의 일부내용을 서술하는 과정을 나타낸다. 부품에 관한 기본데이터와 제조특징데이터는 사용자가 대화식으로 입력한다. 부품서술시에 명칭을 포함한 기본데이터를 입력하고 나면 시스템에서는 부품의 명칭

에 따라 해당 부품군을 찾아가고 부품군의 그룹제조특징의 각각에 대한 존재여부를 묻는다. 대화시에 특정한 제조특징에 대한 의문이 있을시는 그 제조특징을 처리하는데 필요한 공작기계, 작업, 공구를 시스템에서 발췌하여 화면상에 나열시켜 볼 수 있다. Fig. 5는 제조지식의 예를, Fig. 6은 준지식의 예를 보여주며, Fig. 7은 주어진 부품에 대해 의사결정과정을 거친 후 시스템에서 제공하는 공정표(Routing Sheet)를 나타내고 있다. 공정표에는 부품의 기본데이터가 포함되고 부품을 가공하는데 필요한 공작기계가 가공순서대로 나열되어 있으며 각 공작기계에서 처리하는 가공작업과 필요한 공구가 주어진다.

실제 현장에서 Fig. 3에 주어진 부품에 대해서 공정계획을 작성하여 Fig. 7에 주어진 공정계획과 비교하여 본 결과, 동일한 내용이 주어짐을 파악하였고 따라서 여기서 개발된 시스템은 본 연구의 대상부품에 대해 실제적인 공정계획을 수립할 수 있음을 알 수 있다.

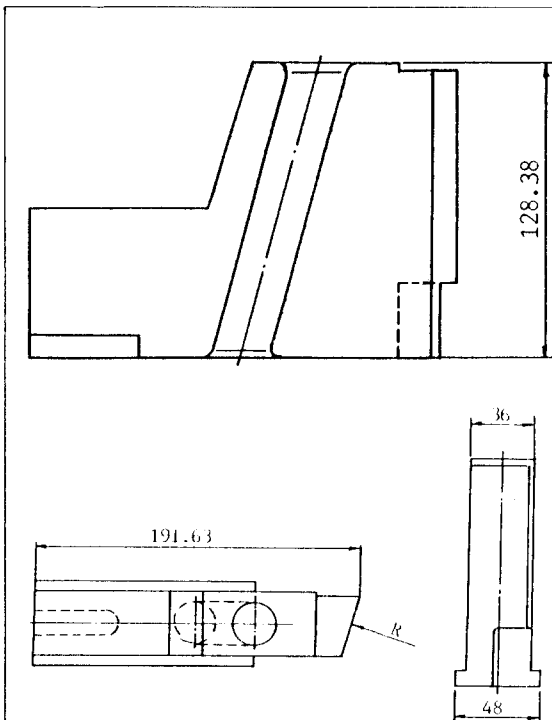


Fig. 3 Sample drawing of slide core

```

part name:slide core
input part number:1250
input material name:kp4
input dimension A (A<B<C):200
input dimension B (A<B<C):135
input dimension C (A<B<C):55
input y(es) or n(o) or w(hy) for each question

1. raw material-angular type : (y/n/w):y
2. corner cut-linear type : (y/n/w):y
3. internal shape - 2 dimensional : (y/n/w):y
4. internal shape - 3 dimensional : (y/n/w):y
5. internal shape - cylindrical : (y/n/w):n
6. structural form -assembly type : (y/n/w):y
7. hole for cooling water : (y/n/w):n
8. general hole : (y/n/w):n
9. cylindrical hole (slant): (y/n/w):w

IF C<200<=600 AND 0<135<=400
THEN MACHINES = MS,
OPERATIONS =drilling slant cylindrical hole,
TOOLS =drill & endmill,

9. cylindrical hole (slant): (y/n/w):y

input new part's details.
    
```

Fig. 4 Part description by interactive input

```

rule(6,2,1,"y"," ",0,600,0,400)      op(6,2,1,{"corner cutting","core 6-face grinding"})
rule(6,2,2,"y"," ",0,9999,0,9999)    op(6,2,2,{"corner cutting"," "})
rule(6,2,3,"n"," ",0,0,0,0)          op(6,2,3,{" "," "})

mc(6,2,1,{"M5","G2"})                to(6,2,1,{"endmill","grinder"})
mc(6,2,2,{"M6"," "})                 to(6,2,2,{"endmill"," "})
mc(6,2,3,{" "," "})                  to(6,2,3,{" "," "})

```

Fig. 5 Example of manufacturing knowledge

```

process_sq(6,NO,NAME,Sizea,Sizeb,[F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,F9,
    F10,F11,F12,F13,F14,F15]):-
    !,consult("doctr6.pro"),
    rule_int(NO,NAME,6,10,F10," ",Sizea,Sizeb,1),
    rule_int(NO,NAME,6,1,F1," ",Sizea,Sizeb,2),
    rule_int(NO,NAME,6,7,F7," ",Sizea,Sizeb,3),
    rule_int(NO,NAME,6,8,F8," ",Sizea,Sizeb,4),
    rule_int(NO,NAME,6,2,F2," ",Sizea,Sizeb,5),
    rule_int(NO,NAME,6,6,F6," ",Sizea,Sizeb,6),
    rule_int(NO,NAME,6,3,F3,F4,Sizea,Sizeb,7),
    rule_int(NO,NAME,6,4,F4," ",Sizea,Sizeb,8),
    rule_int(NO,NAME,6,5,F5," ",Sizea,Sizeb,9),
    rule_int(NO,NAME,6,12,F12," ",Sizea,Sizeb,10),
    rule_int(NO,NAME,6,11,F11," ",Sizea,Sizeb,11),
    rule_int(NO,NAME,6,13,F13," ",Sizea,Sizeb,12),
    rule_int(NO,NAME,6,14,F14," ",Sizea,Sizeb,13),
    rule_int(NO,NAME,6,15,F15," ",Sizea,Sizeb,14),
    rule_int(NO,NAME,6,9,F9," ",Sizea,Sizeb,15),
    maxopcol(NO,NAME,1,15,0,Nolen),
    write_process(NO,NAME,[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15],Nolen),!,
    clr_rule.

rule_int(NO,NAME,Rno,Fno,"y"," ",SA,SB,Seqno):-
    !,rule(Rno,Fno,N,"y"," ",A1,A2,B1,B2),
    SA>A1,SA<=A2,SB>B1,SB<=B2,!,
    rule_sch(NO,NAME,Rno,Fno,N,Seqno).

rule_sch(NO,NAME,Rno,Fno,N,Seqno):-
    mc(Rno,Fno,N,Mlist),op(Rno,Fno,N,Plist),to(Rno,Fno,N,Tlist),
    asserta(machine(NO,NAME,Seqno,Mlist)),
    asserta(operation(NO,NAME,Seqno,Plist)),
    asserta(tool(NO,NAME,Seqno,Tlist)).

```

Fig. 6 Example of metaknowledge

Routing Sheet		
part number:1250		
part name:slide core		
material:kp4		
dim (a) :200	dim (b) :135	dim (c) :55
machine	operation	tool
M1	core 6-face cutting	face cutter
M5	corner cutting	endmill
G2	core 6-face grinding	grinder
A1	face spot	
N1	3-dimension form feature	endmill
M5	drilling slant cylindrical hole	drill & endmill

Fig. 7 Routing sheet of slide core

#### 4. 결 론

본 연구에서는 비회전형상의 사출금형부품을 대상으로 하여 오토마타 이론을 응용해서 공작기계, 가공작업과 공구의 선정 및 가공작업의 순서를 결정하는 지식베이스 CAPP 시스템을 개발하였다.

개발된 CAPP시스템은 부품서술 서브시스템, 지식베이스, 추론기관으로 구성되어 있으며, IBM PC상에서 TURBO-PROLOG 언어를 이용하여 개발하였다. 지식베이스는 부품지식, 제조지식, 준지식으로 구성되며 지식의 체계적인 표현에 중점을 두었다. 부품에 관한 사실은 제조특징의 개념을 도입하여 프레임으로 표현하고, 제조지식도 프레임을 이용하여 표현하여 부품군단위로 모듈화하였으며, 준지식은 규칙을 이용하여 표현하였다. 추론기관은 깊이우선탍색방법을 이용하여 후진적연쇄의 제어전략을 사용하였다. 개발한 CAPP시스템을 이용하여 공정계획을 실시해 본 결과, 실제 생산현장에 쉽게 적용할 수 있음을 파악하였다.

일반적으로 부품에는 입력요소와 출력요소가 한정되어 있고 입력요소에 우선순위를 부여할 수 있으므로,

오토마타 이론을 응용한 의사결정모델을 구축하여 본 연구에서 제안한 전문가 시스템의 구조와 방법을 적용하면 효율적인 공정계획을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

### 參 考 文 獻

1. Chang, T.C. and Wysk, R. A., "An Introduction to Automated Process Planning Systems", Prentice-Hall, 1985.
2. Iwata, K. and Sugimura, N., "An Integrated CAD/CAPP System with 'Know-Hows' on Machining Accuracies of Parts", Transactions of the ASME, J. of Engineering for Industry, Vol.109, pp.128-133, 1987.
3. Ham, I. and Lu, S.C.-Y., "Computer-Aided



- Process Planning : The Present and the Future", *Annals of the CIRP*, Vol. 37/2, pp. 591-601, 1988.
4. Descotte, Y. and Latombe, J-C., "Making Compromises among Antagonist Constraints in a Planner", *Artificial Intelligence*, Vol. 27, pp. 183-217, 1985.
  5. Matsushima, K., Okada, N. and Sata, T., "The Integration of CAD and CAM by Application of Artificial Intelligence Techniques", *Annals of the CIRP*, Vol. 31, pp. 329-332, 1982.
  6. Van't Erve, A.H. and Kals, H. J. J., "XPLANE : A Generative Computer Aided Process Planning System for Part Manufacturing", *Annals of the CIRP*, Vol. 35. No. 2, pp. 325-329, 1986.
  7. Skvarcius, R. and Robinson, W.B., "Discrete Mathematics with Computer Science Applications", *The Benjamin/Cummings*, 1986.
  8. Milacic, V.R. and Urosevic, M., "SAPT : Knowledge-Based CAPP System", *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 4, No. 1/1, pp. 69-76, 1988.
  9. Milacic, V.R., and "Theoretical Approach to Knowledge Acquisition and Knowledge Representation in CAPP-Expert Systems", 38th CIRP General Assembly, Tokyo, Japan, August 21-27, 1988.
  10. Wang, H.P. Wysk, R. A., "A Knowledge-based Approach for Automated Process Planning", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 26. No. 6, pp. 999-1014, 1988.
  11. Van't Erve, A.H. and Kals, H. J. J., "The Selection of Optimum Machining Operations in Automated Process Planning", *Proc. of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, pp. 47-54, June 1-2, 1987.
  12. Wolfgram, D.D. Dear, T. J. and Galbraith, C. S., "Expert Systems for the Technical Professional", *John Wiley & Sons*, 1987.
  13. Harmon, P. and King, D., "Expert Systems", *John Wiley & Sons*, 1985.
  14. Waterman, D. A., "A Guide to Expert Systems", *Addison-Wesley*, 1986.
  15. Iwata, K. and Fukuda, Y., "KAPPS : Know-How and Knowledge Assisted Production Planning System in the Machine Shop", *Proc. of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, pp. 287-294, June 1-2, 1987.
  16. ElMaraghy, H. A. and Gu, P.H., "Expert System for Inspection Planning", *Annals of the CIRP*, Vol. 36/1, pp. 85-89, 1987.
  17. Hsu, C. and Skevington, C., "Integration of Data and Knowledge in Manufacturing Enterprises : A Conceptual Framework", *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 277-285, 1987.
  18. Kumara, S.R.T., Joshi, S., Kashyap, R.L., Moodie, C.L. and Chang, T.C., "Expert Systems in Industrial Engineering", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 24, No. 5, pp. 1107-1125, 1986.
  19. Tou, J. T., "Design of Expert Systems for Integrated Production Automation", *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 147-156, 1985.
  20. 趙東燮, Turbo PROLOG 入門, 世和, 1987.