

〈論 文〉

사출금형의 공정설계 전문가시스템의 개발

조규갑* · 임주택** · 노형민***

(1992년 5월 25일 접수)

Development of Expert Process Planning System for Injection Mold

Kyu-Kab Cho, Ju-Taek Lim and Hyung-Min Rho

Key Words: CAPP(자동공정설계), Expert System(전문가시스템), Decision Making Rule(의사결정 규칙), Injection Mold(사출금형)

Abstract

This paper deals with development of expert process planning system which automatically generates process plan for manufacturing parts of injection mold. The specific domain of study is two-plate injection mold without support plate. Decision making rules for selection of machining processes machine tools, cutting tools and for determination of sequence of machining operations are acquired by interview of skilled process planner. The developed expert process planning system is programmed by using expert system shell CLIPS on the IBM PC/AT. The proposed system works well to real problems.

1. 서 론

기계부품의 생산에서 컴퓨터 통합 생산시스템의 실현을 위한 중요한 분야의 하나는 CAD와 CAM을 연결하는 공정설계의 자동화, 즉 컴퓨터를 이용하여 공정설계를 자동적으로 생성하는 자동공정설계(computer aided process planning; CAPP) 시스템의 개발이다.⁽¹⁾ CAPP 시스템의 개발은 주로 기계가공 부품을 대상으로 하여, 70년대 초반의 GT 개념에 의한 변성형 방법(variant method)과 70년대 중반의 창성형 방법(generative method)에 의한 개발과정을 거쳐서, 80년대 부터 지식베이스 접근방법에 의한 공정설계 전문가시스템이 개발되고 있다.⁽²⁾ 특히 기계공업분야에서 기술파급 효과가 크고, 전형적인 다품종 소량생산의 특징을 가지

면서도 숙련된 설계자와 가공 기술자의 경험에 의존하고 있는 금형 생산에 대한 CAPP 시스템 개발의 중요성이 인식되어, 이 분야의 연구가 수행되고 있는 실정이다.^(3~6)

본 연구는 사출금형의 공정설계 전문가시스템의 개발에 대한 연구⁽⁴⁾의 일부로서, 구체적으로는 구조가 비교적 간단하고 의사결정 규칙의 획득이 용이한 받침판이 없는 2단 사출금형을 대상으로 하여 CLIPS⁽⁷⁾를 사용하여 개인용 컴퓨터에서 실행이 가능한 공정설계 전문가시스템을 개발하여 실제 사출금형 공정설계에 적용하여 그 유효성을 평가하였다.

2. 공정설계용 의사결정 규칙 개발

2.1 사출금형 부품의 기능특성 분석

연구대상으로 선정한 받침판이 없는 2단 사출금형은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 8개의 부품으로 분류하였다.⁽⁸⁾

*정회원, 부산대학교 산업공학과

**부산대학교 산업공학과 대학원

***정회원, 한국과학기술연구원

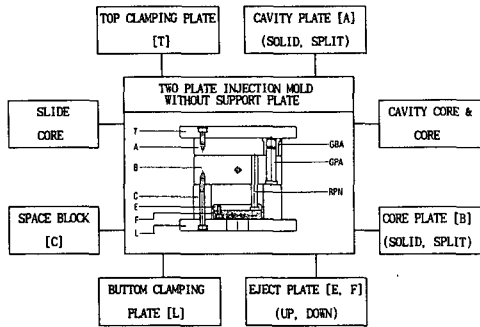


Fig. 1 Part classification of two-plate injection mold without support plate

이 가운데 고정측 형판과 가동측 형판은 2가지의 형식으로 구분하였는데, 성형품의 기하학적 형상이 복잡하거나 고급 재질을 사용하는 경우에 코어 부분만을 분할 가공하여 형판에 삽입하는 경우를 분할형이라 하고, 그렇지 않고 성형부를 같이 가공하는 경우를 일체형이라고 한다. 따라서 본 연구에서는 고정측 및 가동측 형판의 일체형, 분할형을 각각 다른 부품으로 취급하여 10개의 부품이 존재하는 것으로 한다. 이와같이 10개의 부품으로 분류한 이유는 일반적으로 부품의 명칭은 그 부품이 갖고 있는 대표적인 기능을 표시 하며, 또 사출금형 부품도면 1000매를 분석한 결과, 각 부품의 명칭에 따라 존재할 수 있는 기능특성에 따른 형상들을 용이하게 획득할 수 있기 때문이다.⁽⁸⁾ 받침판이 없는 2단 사출금형의 각 부품에 존재할 수 있는 기능특성을 요약하면 Table 1과 같다.

사출금형의 구성 부품들을 크게 두 가지로 분류하면 성형될 제품의 기하학적 형상을 생성하는 코어류(캐비티 코어 및 코어, 슬라이드 코어)와 이들 코어류를 지지하는 형판류(고정측 및 가동측 형판, 고정측 및 가동측 설치판, 이젝트 플레이트, 스페이스 블록)로 나눌 수 있다. 코어류에 포함된 기능특성과 관련된 형상들은 Table 2와 같고, 형판류에 포함된 기능특성과 관련된 형상들은 Table 3과 같다.

2.2 사출금형 부품의 기능특성 인식

받침판이 없는 2단 사출금형을 구성하는 부품에 각각 존재할 수 있는 기능특성들을 인식할 수 있는 인식표를 각 부품별로 체계화 했는데, 한 예로써 분할형 고정측 형판에 대한 기능특성 인식표를 Table 4에 나타내었다.⁽⁹⁾

Table 4에서 소재가공 기능과 특수가공 기능이 추가되었는데, 그 이유는 공정설계를 할 때 기능특성에 따른 형상과 이들 형상들을 가공하는 방법에 대한 인식이 동시에 수행되어야 하기 때문이다. 본 연구에서 각 부품에 존재하는 기능특성을 인식한 후에 컴퓨터의 화면에 출력되는 질문에 따라서 사용자가 직접 대답하는 대화형 방법을 선택했다.

각 부품별 기능특성 인식표를 기초로 해서 질문 항목을 구성했는데, 분할형 고정측 형판에 대한 질문목록은 Table 5와 같다.

2.3 공정설계용 지식베이스 구축

각 부품에 존재하는 기능특성을 인식하고 난 뒤

Table 1 Summary of functional characteristics in injection mold

- External Shape Function(ESF)
- Core Function(CF)
- Plate and Cavity Function(PCF)
- Runner and Gate Function(RGF)
- Heat Exchange and Air Vent Function(HEAVF)
- Ejection Function(EF)
- Guide Function(GF)
- Mounting Function(MF)
- Transport Function(TF)
- Undercut Treatment Function(UTF)
- Insert Function(IF)
- Operation for Slide Core Function(OSCF)

Table 2 Functional characteristics in core class

Function	Related Shapes
A) ESF	1. Rectangular Shape 2. Circular Shape 3. Pocket Shape(Insert Core Assembly) 4. Square Hole Shape(Insert Core Assembly)
B) CF	1. Cornercut Shape 2. Rib Shape 3. Two Dimensional Shape(Plastic Part) 4. Three Dimensional Shape(Plastic Part) 5. Two and Three Dimensional Shape(Plastic Part) 6. Circular Shape(Plastic Part)
C) RGF	1. Runner and Gate Shape 2. Tunnel Gate Shape
D) HEAVF	1. Length of Hole Shape \geq 80mm (Cooling Channel) 2. Length of Hole Shape $<$ 80mm (Cooling Channel) 3. "O" Ring Shape
E) EF	1. Eject Pin Hole Shape 2. Sleeve Pin Hole Shape
F) MF	1. Tapping Hole Shape 2. Bolt Hole Shape
G) TF	1. Eye bolt Hole Shape \leq M48 2. Eye bolt Hole Shape $>$ M48
H) OSCF	1. Angular Hole Shape
I) UTF	1. Precision Hole Shape 2. Square Angular Eject Pin Hole Shape

에 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공순서를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 공정설계 전문가와 인터뷰 및 간단한 사례도면을 대상으로 공정설계 과정을 분석하는 방법을 사용하여 필요한 의사결정 규칙을 획득하여 각 부품별로 지식베이스를 구축하였다. 분할형 고정축 형판에 존재하는 공작기계, 절삭공구 및 가공순서에 대한 각각의 의사결정 규칙 예는 다음과 같으며, 예에서 사용된 공작기계명은 약호를 사용하여 나타내었다.

(1) IF(냉각수 구멍 길이가 80 mm 이상인 경우)

THEN(사용기계는 DG, 사용공구는 Gun Drill)

(2) IF(냉각수 구멍 길이가 80 mm 이하인 경우)

THEN(사용기계는 DR, 사용공구는 Drill and Tab)

(3) IF(테이퍼진 인터록 형상이 있는 경우) and (경사진 면을 관통한 냉각수 구멍 형상)

THEN 공정순서는 40, 사용기계는 DG

본 연구에서 획득된 의사결정 규칙은 전문가시스템을 개발하기 위해서 사용한 셸(shell)인 CLIPS가 생성 규칙(production rule)에 기초를 둔 시스템이고 또한 지식의 변경, 수정이 용이하며 시스템의 확장성이 뛰어난 점, 지식의 표현이 명확한 점, 유연성이 높은 점 등 소위 지식의 모듈성이 높은 것에 따른 잇점을 고려하여 IF-THEN 형식의 규칙을 사용해서 공정설계용 전문가시스템을 개발하

Table 3 Functional characteristics in plate class

Function	Related Shapes
A) PCF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Two Dimensional Shape(Plastic Part) 2. Three Dimensional Shape(Plastic Part) 3. Two and Three Dimensional Shape(Plastic Part) 4. Circular Shape (Symmetric Plastic Part on Plate) 5. Circular Shape(Nonsymmetric Plastic Part on Plate) 6. Square Pocket Shape(Insert Pocket) 7. Circular Pocket Shape(Insert Pocket) 8. Pocket Shape(Cotter Part) 9. Tapered Shape(Interlock Part) 10. Cornercut Shape
B) RGF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Runner and Gate Shape 2. Tunnel Gate Shape 3. Sprue Bush Hole Shape
C)HEAVF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cooling Channel Hole Shape on Slant Surface 2. Length of Hole Shape $\geq 80\text{mm}$(Cooling Channel) 3. Length of Hole Shape $< 80\text{mm}$(Cooling Channel) 4. "O" Ring Shape 5. Air Vent Shape
D) EF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eject Pin Hole Shape 2. Square Eject Pin Hole Shape 3. Pocket Shape(Stripper Bolck) 4. Sleeve Pin Hole Shape 5. Pocket Shape(Rotational Prevention)
E) GF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Guide Pin Hole Shape 2. Lead Pin Hole Shape 3. Return Pin Hole Shape
F)MF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tapping Hole Shape 2. Lateral Hole Shape(Slide Core) 3. Connection Hole Shape(Cooling Channel) 4. Bolt Hole Shape(Assembly)
G) TF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eye bolt Hole Shape $\leq M48$ 2. Eye bolt Hole Shape $> M48$
H) UTF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Slant Slide Core(Slant Block and Cylinder) 2. Horizontal Slide Core(Guide Rail and Cylinder) 3. Horizontal Slide Core(Guide Rail and Angular Pin Hole) 4. Hybrid Type for 2 and 3 5. Square Angular Eject Pin Hole Shape
I) IF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Square Pocket Shape(Insert Core) 2. Circular Pocket Shape(Insert Core) 3. Square Hole Shape(Insert Core)

Table 4 Recognition table for functional characteristics of spill cavity plate

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS	EXISTENCE	LOCATION
A) PLATE and CAVITY FUNCTION	◆	
i. Shape of Plastic Part	○	
1. Square Pocket(Insert)	▲	UP
2. Circular Pocket(Insert)	▲	UP
ii. Shape of Alignment	○	
1. Cotter	▲	UP
2. Interlock	▲	UP
B) HEAT EXCHANGE and AIR VENT FUNCTION	◆	
1. Cooling Channel Hole	○	SIDE
2. Cooling Channel Hole(Slant Surface)	▲	SIDE
3. "O" Ring	○	UP
C) MOUNTING FUNCTION	◆	
1. Tapping Hole	○	UP
2. Connection Hole(Cooling Chanel)	○	UP
3. Bolt Hole(Assembly)	○	DOWN
D) GUIDE FUNCTION	◆	
1. Guide Bolt Hole	○	UP
E) TRANSPORT FUNCTION	◆	
1. Eye Bolt Hole	○	SIDE
F) UNDERCUT TREATMENT FUNCTION	▲	
1. Slant Slide Core(Slant Block and Cylinder)	▲	SIDE
2. Horizontal Slide Core(Guide Rail and Cylinder)	▲	SIDE
3. Horizontal Slide Core(Guide Rail and Angular Pin Hole)	▲	UP
4. Hybrid Type for 2 and 3	▲	SIDE, UP
G) MATERIAL PROCESSING FUNCTION	◆	
1. Primary Pocket Shape	○	UP
2. Depth of Pocket Shape $\geq 1/2$	▲	UP
H) PROCESSING FEATURE FUNCTION	▲	
1. Copy processing	▲	UP
2. EDM Processing	▲	UP
3. Finish Processing	▲	UP

Remark) (1) Meaning of Symbols in EXISTENCE

- ◆ : FUNCTION is always existed.
- : Related Shape is always existed
- ▲ : Related Shape is conditionally existed

(2) Criterion of LOCATION is top view in drawing.
solid line on top view is "UP", dashed line on top view is "DOWN" and remainder is "SIDE".

Table 5 Query of split cavity olate**[A] MATERIAL PROCESSING FUNCTION**

1. Is there a pocket for the primary shape which is connected the plastic part in the material?[yes/no] **yes**
 - 1.1 Is the depth of the pocket for the primary shape more than the half of the thickness of the cavity plate?[yes/no] **yes**

[B] PLATE and CAVITY FUNCTION

2. Is the shape of pocket for insert a square?[yes/no] **yes**
3. Is the shape of pocket for insert a circle which is located in the center of the cavity plate or circles which are more than two symmetric circle shape?[yes/no] **no**
 - 3.1 How far is the length of the diagonal line from the center of the circle pocket to farthest corner of cavity plate?[size]
4. Is there a pocket or groove for cotter assembly in order not to deviate of the die set?[yes/no] **yes**
5. Is there interlock shape in order to align of the die set?[yes/no] **no**

[C] HEAT EXCHANGE and AIR VENT, MOUNTING, TRANSPORT FUNCTION

6. Is there a cooling channel which is penetrated slant face?[yes/no] **no**
7. Is the depth of the cooling channel more than 80mm?[yes/no] **yes**
8. Is there a "O" ring shape?[yes/no] **yes**
9. Is the size of eye bolt hole less than M48 ? [yes/no] **yes**

[D] UNDERCUT TREATMENT FUNCTION

10. Is there a shape for undercut treatment?[yes/no] **no**
 - 10.1 For undercut treatment,
 - [1] there is slant slide core shape(slant block and cylinder)
 - [2] there is horizontal slide core shape
 Choose the number of shape existed→→
 - 10.2 What is used for guide of horizontal slide core[1, 2 & 3] ?
 - [1] guide rail and cylinder
 - [2] guide rail and angular pin hole
 - [3] both [1] and [2]

[E] PROCESSING FEATURE FUNCTION

11. Is there a shape needed copy processing which is not finished NC machine tool because of complex shape?[yes/no] **no**
12. Is there a shape needed EDM Processing at least?[yes/no] **no**
 - ◆ the shape which has corner can not permit cutter radius(example, corner is rectangular)
 - ◆ the depth of rib shape is more than 4 times of cutter diameter
 - ◆ partial complex shape which is not defined
 - ◆ the thickness of shape which has corner is more than 300mm
 - ◆ the depth of the pocket is more than 6 times of endmill diameter

였다. 앞에서 예를 들었던 의사결정 규칙들을 CLIPS로 코드화하면 다음과 같다.

```
(1) (defrule rule-049
      (gosub DCAP)
      (decision for DCAP)
      (a depth-cooling-channel yes)
```

⇒

```
(assert (process DG "Cooling channel
processing" p "Gun Drill" 1)))
```

```
(2) (defrule rule-050
      (gosub DCAP)
      (decision for DCAP)
      (a depth-cooling-channel no)
```

⇒

```
(assert (process DR "Cooling channel
processing" p "Drill and Tab" 1)))
```

```
(3) (defrule sequence-105
      (gosub DCAP)
      (decision for sequencing)
      (a inner-part yes)
      (a penetrated-slant-cooling yes)
      ?rem < - (process DG?p1 ?p2 ?t1 ?t2)
      ⇒
      (retract ?rem)
      (assert (process 40 ?p1 ?p2 DG ?t1 ?t2)))
```

3. MOLD CAPP 시스템의 개발

3.1 시스템의 개요

본 연구에서 개발된 사출금형 공정설계용 전문가 시스템인 MOLD CAPP은 받침판이 없는 2단 사출금형을 대상으로 하여 각 부품을 가공하는데 필요한 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공순서 등을 자동적으로 생성하는 공정설계 전문가시스템이다. MOLD CAPP 시스템은 Fig. 1의 부품 분류에 따라 10개 모듈로 구성되어 있으며, 각 부품별 지식베이스에 포함된 의사결정 규칙의 갯수는 495개이다. MOLD CAPP 시스템의 흐름도는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 흐름도에서 성형될 제품에 대한 정보(제품번호, 모델, 제품명, 금형번호 등)를 입력하면 시스템은 어떤 부품에 대해서 공정설계를 할 것인가를 사용자에게 질문을 한다. 사용자가 원

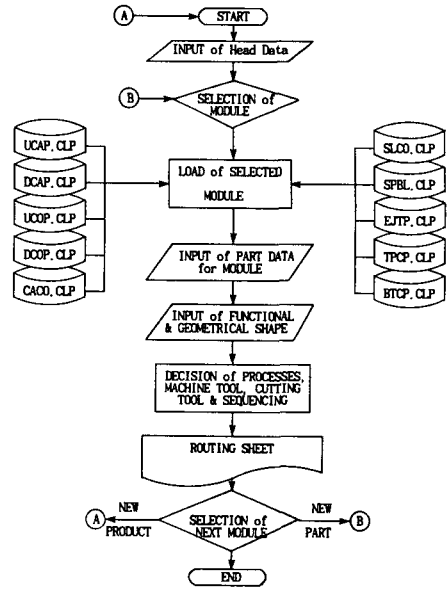


Fig. 2 The information flow of MOLD CAPP system

하는 부품의 번호를 선택하면 시스템은 공정설계할 부품의 지식베이스를 작업기억 공간으로 입력한 후, 해당 부품에 대한 정보(부품번호, 부품명, 재질, 외곽치수 등)를 사용자에게 요구한다.

시스템이 선택된 부품에 존재 가능한 기능특성에 포함된 형상에 대한 질문을 하면 사용자는 형상들의 존재 유무를 yes 또는 no로 시스템에게 인식시킨다. 형상인식을 한 시스템은 지식베이스를 이용해서 추론기관을 통해 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공순서를 결정하여 공정표(routing sheet)를 출력한다.

3.2 적용 사례 및 고찰

본 연구에서 개발된 MOLD CAPP 시스템을 Fig. 3에 나타낸 분할형 고정축 형판에 적용시켜 보았다. 사례도면에 존재하는 형상들을 인식하기 위해서는 Table 5에 주어진 질문에 사용자가 응답하면 MOLD CAPP 시스템은 Fig. 4와 같은 공정표를 출력한다.

MOLD CAPP 시스템을 사용하여 사례도면들을 대상으로 각 부품별로 공정설계를 수행한 결과가 공정설계 전문가가 수작업한 결과와 일치하였고, 공정설계시 소요되는 시간을 비교하면 초보자는 2시간 정도, 공정설계 전문가는 30분 정도, MOLD CAPP 시스템은 15분 정도 소요되었다.

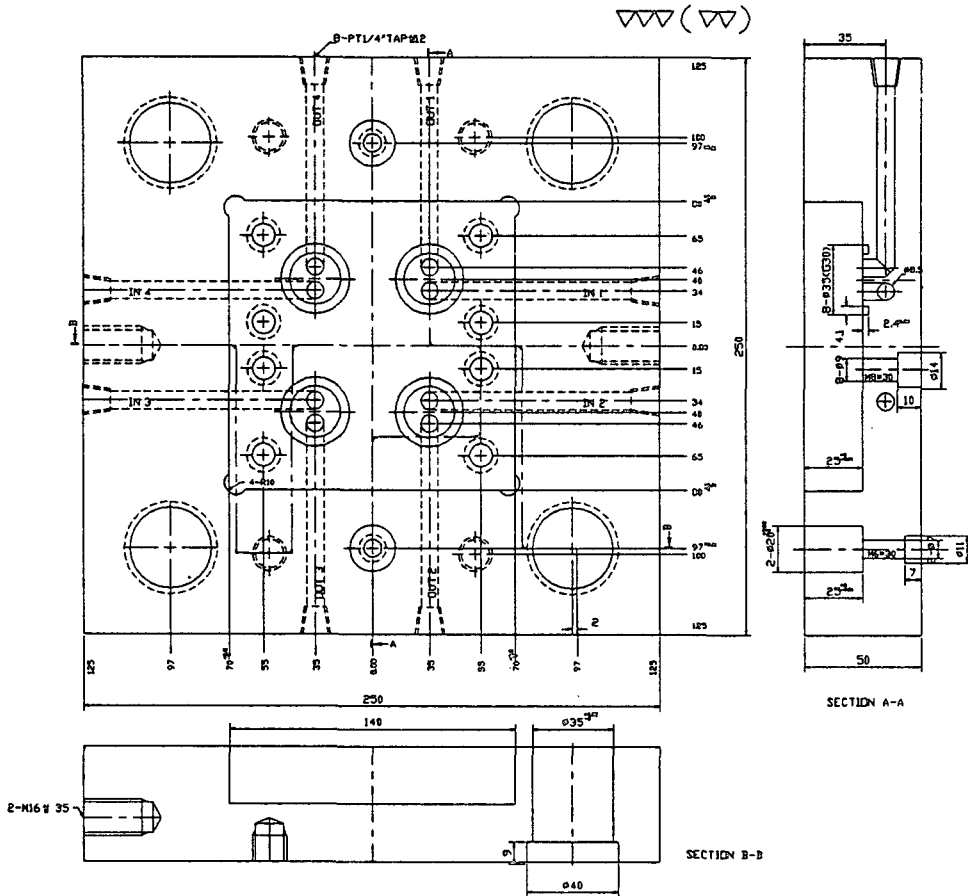


Fig. 3 A part drawing of split cavity plate

PROD.NO.	MODEL	PROD. NAME	DIE NO.	PLANNER	DATE
071DA	3J06922	NAME PLATE-H	OCMJ071	LIM J. T.	1992. 5. 14
PART NO.	PART NAME	MATERIAL	PART SIZE (A>B>C)	BEG. DATE	DUE. DATE
J03	DCAP	SM55C	250 * 250 * 50	1992. 5. 14.	1992. 6. 29.
NO.	PROCESSES	M/C	TOOL	REMARK	
1	First rough cutting	MF	Face Cutter		
2	Prima pocket processing	MS	Endmill and Ball Endmill		
3	Second rough cutting	MF	Face Cutter		
4	Square pocket for insert	MS	Endmill		
5	Guide pin hole processing	MS	Endmill		
6	Cotter shape processing	MS	Endmill		
7	"O" ring shape processing	MS	Endmill		
8	Cooling channel processing	DG	Gun Drill		
9	General hole processing	DR	Drill and Tab		
10	Hole of assembly bolt processing	DR	Drill and Tab		
11	Eye bolt hole processing	DR	Drill and Tab		
12	Finishing processing	AS			

Fig. 4 Routing sheet

4. 결 론

본 연구에서 개발된 MOLD CAPP 시스템은 반침판이 없는 2단 사출금형에 대한 공정 설계를 수행하는 전문가시스템이다. 지식베이스를 구축하기 위해서 공정설계 전문가와 인터뷰를 하는 방법과 사례도면을 대상으로 공정설계 과정을 분석하는 방법을 통해서 지식을 획득하였으며, 지식의 표현은 생성 규칙을 사용하는 CLIPS를 사용하여 전문가 시스템을 개발하였다. MOLD CAPP 시스템은 사출금형의 각 부품에 존재하는 기능특성에 포함된 형상들을 대화형으로 인식한 후, 인식된 형상들을 가공하는데 필요한 가공공정, 공작기계, 절삭공구 및 가공순서는 전문가시스템의 추론기관에 의해 지식베이스에서 추론되어 공정표로 출력된다.

본 시스템이 개발됨으로써 기대되는 이것은 시간 및 비용이 절감되고 일관성있는 공정설계가 수행될 수 있다. MOLD CAPP이 형상인식을 대화형으로 인식하는 한계점을 해결하기 위해서 CAD 시스템에서 생성된 부품의 설계정보를 이용하여 부품에 존재하는 형상을 MOLD CAPP 시스템에 입력하는 CAD/CAPP 인터페이스 방법과 표준시간을 자동으로 산출하는 시스템이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구에서 사용한 사례도면 및 지식베이스의 구축을 위한 의사결정 규칙들은 금성사 창원 금형 공장 공정설계과의 지원을 받았음.

참고문헌

- (1) Chang, T. C., 1990, "Expert Process Planning for Manufacturing," Addison-Wesley, pp. 6~20.
- (2) Alting, L. and Zang, H., 1989, "Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey," INT. J. PROD. RES., Vol.27, No.4, pp. 553~585.
- (3) 노형민 외, 1991, "사출금형의 가공 자동화를 위한 공정설계시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N762(4)-4238-2.
- (4) 노형민 외, 1990, "사출금형의 가공 자동화를 위한 공정설계시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N668(5)-4008-2.
- (5) 노형민 외, 1989, "사출금형의 가공 자동화를 위한 공정설계시스템 개발", 과학기술처 연구보고서, N542(5)-3652-2.
- (6) 노형민, 이진환, 1992, "사출 금형의 CAD/CAPP 통합을 위한 가공 형상 데이터베이스", 대한기계학회논문집, 제16권, 제2호, pp. 259~266.
- (7) Giarratano, J. C., 1988, "CLIPS User's Guide, AI Section," L. B. Johnson Space Center.
- (8) 조규갑 외, 1988, "금형공정설계의 자동화 시스템 개발(II)", 금성사 금형공장 2차 보고서, 부산대학교 기계기술연구소 생산시스템연구실.
- (9) 조규갑 외, 1990, "사출금형 가공자동화를 위한 공정설계용 의사결정 규칙 개발", 부산대학교 기계기술연구소 생산시스템실.