

Rule Base 방법에 의한 선반가공의 CAD/CAM Integration (Rule Based CAD/CAM Integration for Turning)

◦ 임 중혁 (*) 박 지형 (*) 이 교일 (**)
(Jong Hyuk Lim) (Ji Hyung Park) (Kyo Il Lee)

* 서울대학교 기계설계학과 대학원
** 서울대학교 기계설계학과
(Dep. of Mech. Design & Prod. Eng., S.N.U.)

This paper proposes a Expert CAPP System for integrating CAD/CAM of rotational workpart by rule based approach. The CAD/CAPP integration is performed by the recognition of machined features from the 2-D CAD data (IGES) file. Selecting functions of the process planning are performed in modularized rule base by forward chaining inference, and operation sequences are determined by means of heuristic search algorithm. For CAPP/CAM integration, post-processor generates NC code from route sheet file. This system coded in OPS5 and C language on PC/AT, and EMCO CNC lathe interfaced with PC through DNC and RS-232C.

1. 서론

제품의 생산과정 전반을 전산기를 이용하여 통합자동화 하려는 CIM (Computer Integrated Manufacturing)의 개념이 등장한 이래 CAD (Computer Aided Design)와 CAM (Computer Aided Manufacturing)의 유기적인 연결을 위한 CAPP (Computer Aided Process Planning)는 이른바 '통합'을 구현하기 위한 핵심적인 과제로 인식되고 있다. 현재 다수의 CAPP system이 개발되어 실용화되고 있으나 다양하고 복잡한 문제의 해결이 요구되는 가공공정계획의 특수성으로 인해 사용자에게 많은 의사결정을 요구하며, CAD system의 형상정보를 공정계획에 직접 활용하기 곤란하다. 또한 CAM system과의 충분한 연결이 이루어지지 않고 있어 보다 실용적이고 통합화된 환경의 CAD/CAPP/CAM system이 필요하게 되었다 [1,2].

CAPP는 초기에 variant type에서 출발하여 점차 generative type으로 발전하여 왔으며 최근에는 공정계획에서 제기되는 제문제들이 전문가적 경험을 바탕으로 하는 '지적인 방법'을 필요로 한다는 점에서 인공지능의 기법을 이용한 공정계획 전문가 시스템 (Expert CAPP system)으로 그 방법론이 전개되고 있다 [6,7].

본 연구에서는 NC 선반에서 가공될 수 있는 공작물에 대하여 CAD/CAPP/CAM의 통합을 위한 하나의 방법을 제시하고, Fig.1과 같이 구성된 Expert CAPP System을 개발하였다. 이 Expert CAPP system은 크게 세가지의 subsystem으로 나누어지며 각각은 module화된 rule base로 구성되었다. 각 subsystem의 기능은 다음과 같다.

- 1) CAD/CAPP integration - Geometric Modeler에서 출력된 2차원 IGFS (Initial Graphic Exchange Specification) file로부터 가공공정계획에 필요한 공작물의 형상정보를 얻고 pattern 인식을 통하여 가공될 부분의 형상을 찾는다.
- 2) CAPP - 공작물의 가공형상과 가공기술에 관한 정보와

공작기계, 공구등의 가공 system에 관한 정보를 입력으로 하여 가공에 필요한 일련의 공정과 이에 따른 가공수단, 가공조건등을 forward chaining 방법에 의한 추론으로 결정하고, heuristic tree search algorithm을 이용하여 가공순서를 결정하여 최종적으로 공정계획서를 출력한다.

- 3) CAPP/CAM integration - CAPP system에서 출력된 공정계획서로부터 NC program을 생성하고 DNC (Direct Numerical Control) interface를 통해 공작기계로 NC program을 전송한다.

전체 system은 PC/AT에서 OPS5와 C 언어를 이용하여 programming 하였으며, Geometric Modeler로 ROMULUS와 AUTOCAD를 이용하였다. 또한, EMCO 교육용 CNC 선반과 PC/AT를 DNC interface로 연결하여 NC file의 전송, 공작기계상태의 monitoring 등을 수행하였다.

2. Rule Based System의 구성과 운영

주어진 문제를 해결하는 인간의 사고기능은 이미 알고있는 사실(fact)에 경험적 또는 이론적 규칙(rule)을 적용시켜 목적하는 새로운 사실을 얻음으로써 발휘된다. 인간의 사고방식을 모방한 Rule Base 방법은 특정한 분야에서 전문가(expert)의 역할을 대신하기 위한 Expert System의 programming에 이용되고 있다 [3,4].

Knowledge Based System으로도 불리워지는 Rule Based System은 크게 working memory, production rule 그리고 inference engine의 세가지로 구성되고 상황이나 사실을 database화한 working memory와 경험적, 이론적 규칙을 coding한 production rule들이 inference engine에 의해 운영된다. 정보의 표현방법에 있어서 본 연구에서는 공작물의 형상정보인식과 가공공정계획등에 필요한 많은 정보를 다루기 위해 Frame Notation으로 fact를 표현하였다. Frame Notation은 하나의 object에 여러개의 attribute를 부여하고 각각의 attribute가 하나

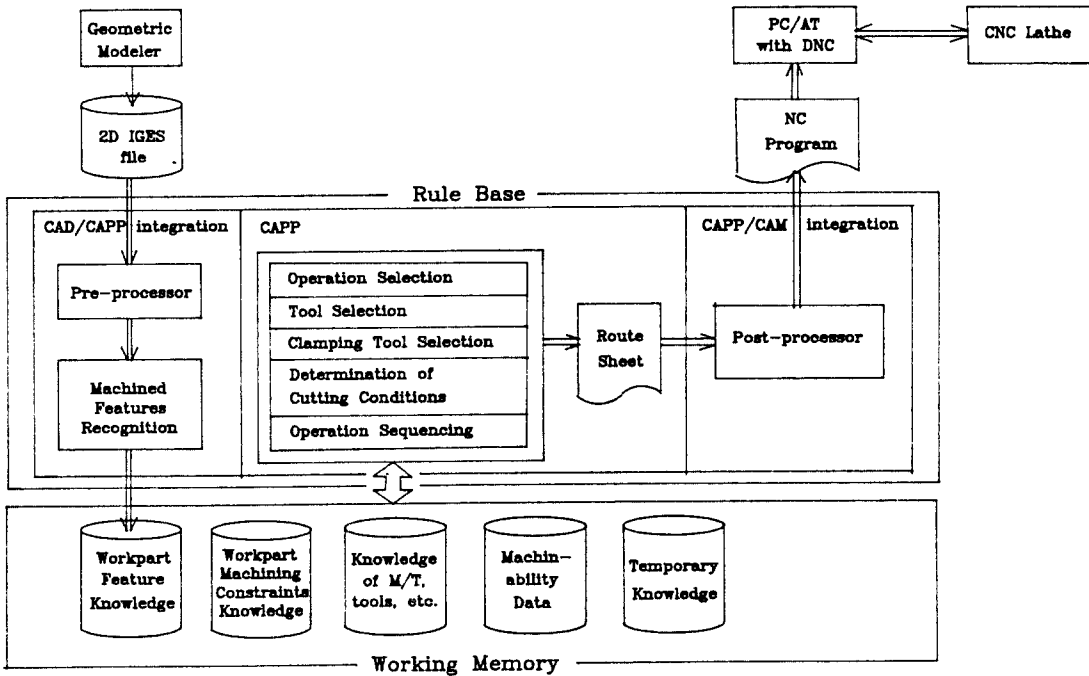


Fig.1 선반가공 공작물의 CAD/CAPP/CAM 통합 system의 구성

또는 그이상의 value를 갖는 구조로서, 하나의 object-attribute-value 조합은 하나의 fact를 나타낸다 [4]. 또한 각각의 object는 특정 attribute의 value를 공유함으로써 타 object로의 logical pointer를 갖고 hierarchy를 이루며 하나의 object를 나타내는 각 WME(working memory element)는 network을 이루어 working memory를 형성한다. Fig.2는 Frame Notation으로 표현된 working memory와 그 structure를 나타낸다.

Production rule은 < if - 전제부 - then - 실행부 >의 형태로 구성되며 WME로 표현된 기존의 정보를 '참조'하여 목적하는 바의 새로운 정보를 생성한다. 즉, 전제부를 만족하는 WME들이 working memory 내에 존재하면 실행부에 의하여 새로운 WME를 만들거나, 기존 WME를 지우고, 특정 attribute의 value를 바꾸는 과정을 반복한다. Fig.3은 production rule과 그에 따른 working memory의 변화를 보여준다.

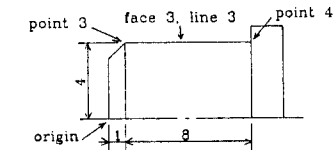
추론기관(inference engine)은 적절한 search strategy로 WME를 production rule에 match시켜줌으로써 knowledge base를 관리하고 production rule의 실행을 제어한다. 본 연구에서 사용한 OPSS의 inference engine은 forward chaining에 의한 전향추론만을 허용한다 [10].

3. CAD/CAPP interface

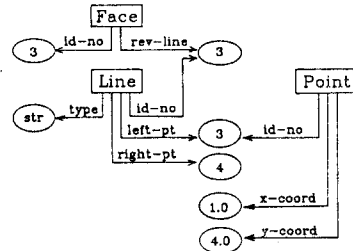
(1) Pre-processor

가공공정계획에 필요한 공작물에 관한 정보는 공작물의 형상정보와 가공기술에 관한 정보로 나눌 수 있다. 형상정보는 CAD system에서 data file로 출력되는 점, 선 (2차원의 경우) 등이

있으며, 가공기술에 관한 정보에는 가공면의 표면거칠기, 치수 공차, 나사의 유무, clamping 가능 여부 등이 있다. 본 Expert CAPP System에서는 상용 CAD system과의 호환성을 위하여 IGES (Initial Graphic Exchange Specification) file을 통하여 공작물의 형상정보를 입력하게 하였으며 IGES file의 각 section의 data를



(a) 정보의 model



(b) Working Memory의 구조

(Face 'id-no 3 'rev-line 3 ...)
 (Line 'id-no 3 'type str 'left-pt 3 'right-pt 4 ...)
 (Point 'id-no 3 'x-coord 1.0 'y-coord 4.0 ...)

(c) Working Memory Elements

Fig.2 정보의 표현을 위한 Working Memory

없이 WME로 재구성하는 pre-processor를 작성하였다. 또한 공작물의 가공기술에 관한 정보도 pre-processor를 통해 사용자로부터 대화식으로 입력 받아 WME화 한다.

Pre-processor는 공작물의 2차원 도면을 이루는 형상정보로부터 점과 선의 위치, 선의 방향, 선의 만남조건 등을 기준으로한 pattern 인식을 통하여 가공형상인식에 필요한 공작물 단면의 외형선만을 추출하고 blank part의 형상정보와 비교하여 공구 이송의 경계가 되는 절삭경계선을 구한다. Pattern 인식을 통해 얻어진 절삭경계선은 평면상의 단순한 curve의 의미만을 지니고 공작물의 단면이 놓이는 방향을 제공하지 않는다. 따라서 절삭경계선에 대한 단면의 방향을 부여하기 위해 본 연구에서는 DEDS (Directed Edge Data Structure) 개념을 이용하여 공작물 단면에 대한 각 절삭경계선의 outer normal vector를 계산하였다 [6]. DEDS 의하면 단면 normal vector의 반대방향으로 단면을 보았을때 단면을 둘러싸고 있는 절삭경계선이 반시계 방향으로 loop를 형성하도록 절삭경계선에 방향 vector를 부여하는 것이다. 절삭경계선에 대하여 단면이 놓이는 방향은 식(1), 식(2)와 같이 얻어지며 절삭경계선에 대하여 왼쪽, 오른쪽, 위, 아래의 4가지로 구분한다. Fig.4는 절삭경계선의 direction vector 와 단면과의 연관성을 보여준다.

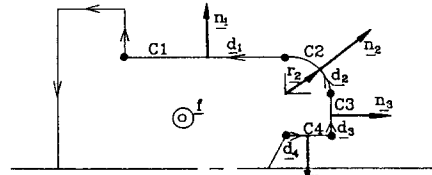


Fig.4 절삭경계선의 방향과 단면과의 관계

직선의 경우 ; $u = d \times f$ 식(1)

원호의 경우 ; $u = \text{sign}(d \cdot f) r$ 식(2)

여기서

u = 절삭경계선의 outer normal unit vector

d = 절삭경계선의 direction unit vector

f = 공작물 단면의 normal unit vector

r = 원호 위의 한점에서의 radial 방향의 unit vector

(2) 가공형상인식

가공형상인식 module은 pre-processor에서 구한 공작물의 절삭경계선으로부터 절삭될 가공형상을 찾는다. 가공형상은 공작물의 blank part의 단면에서 finished part의 단면을 빼서 생기는 전체 절삭부분의 면적을 여러개의 기본적인 형상으로 나눈것으로서 주로 동일한 공구경로 유형에 의해 절삭되는 면적이다. 외경가공의 경우, 가공형상을 찾기 위해 적용한 규칙들은 다음과 같다(Fig.5).

- a) 각각 왼쪽과 오른쪽에 finished part의 단면이 놓이고 절삭부분을 사이에 낀 두 절삭경계선 C_l , C_r 이 존재하면 가공형상 P를 생성한다.
- b) C_l 과 C_r 의 위,아래 끝점의 Y 좌표로부터 가공형상 P의 Y 범위를 구한다.

$$Y_{p_i} = \text{MAX} (Y_{li}, Y_{ri})$$

$$Y_{p_o} = \text{MIN} (Y_{lo}, Y_{ro})$$

- c) $Y_{p_i} > Y_{p_o}$ 이면 가공형상 P를 지운다.

- d) 두 가공형상 P1, P2 가 중첩될 경우,

- i) $C_{l1} = C_{l2}$, $\text{MAX} (X_{r11}, X_{r12}) < \text{MIN} (X_{r22}, X_{r21})$ 이면 가공형상 P2를 지운다.

- ii) $C_{r1} = C_{r2}$, $\text{MIN} (X_{r12}, X_{r22}) < \text{MAX} (X_{r11}, X_{r21})$ 이면 가공형상 P1을 지운다.

- iii) $C_{l1} = C_{l2}$, $C_{r1} = C_{r2}$ 이면 가공형상 P2를 지운다.

- e) 가공형상 P의 영역 안에 좌표 (X_1, Y_1) 을 가지는 한 점이 존재하면 Y_{p_i} 를 Y_1 으로 바꾼다.

```

Rule_Name : Tool_Select_1
If The stage of Sequence is Tool_Selection
and The Machined_Feature MF is exist
and The Operation OP for MF is exist
and The Tool T is exist
and The Insert_of_T is I and Toolholder_of_T is H
and The Name_of_OP and the Use of T is same
and The Collision_Checking between MF and T passed
and The Tool_for_OP has not yet selected
then
  The Insert_for_OP is I
  The Toolholder_for_OP is H
  The Tool_for_OP is selected
(a)

(p Tool_Select_1
(SEQUENCE `status Tool_Selection)
(MACHINED_FEATURE `id <mf> ...)
{(OPERATION `mf_id <mf> `name <opn> `tool NIL
`insert NIL `toolholder NIL ...) <op>}
(TOOL `id <tl> `insert <ins> `toolholder <thld> `use <opn> ...)
(COLLISION_CHECKING `tool_id <tl> `mf_id <mf> `result PASS ...)
-->
(modify <op> `tool <tl> `insert <ins>
`toolholder <thld> ...)
(b)

part of Working Memory before fire of rule

(SEQUENCE `status Tool_Selection)
(MACHINED_FEATURE `id MF02 ...)
(OPERATION `mf-id MF02 `name Right_Hand_Axial_Turning
`tool NIL `insert NIL `toolholder NIL ...)
(TOOL `id T01 `insert DCMM `toolholder SDJCR
`use Right_Hand_Axial_Turning ...)
(COLLISION_CHECKING `tool_id T01 `mf_id MF02 `result PASS ...)
...

part of Working Memory after fire of rule

...
(OPERATION `mf-id MF02 `name Right_Hand_Axial_Turning
`tool T01 `insert DCMM `toolholder SDJCR ...)
...
(c)

```

Fig.3 Production rule의 예(a)와 OPS5 rule(b), 그에 따른 Working Memory의 변화(c)

위의 과정을 거쳐 인식된 가공형상들은 절삭경계선의 기하학적 parameter와 가공기술에 관한 정보를 attribute로 가지는 WME로 구성되어 공정계획을 위한 module에서 활용하게 된다.

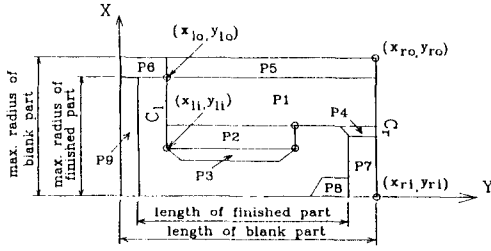


Fig.5 인식된 가공형상의 예

4. 공정계획

선반가공의 경우 가공공정계획은 다음과 같은 기능을 포함하여야 한다.

- 공작기계의 선정
- 공구의 선정
- 가공공정과 공정순서 결정
- clamping 방법의 결정
- 절삭조건의 계산
- 공구경로의 결정
- NC program의 도출

본 CAPP system에서는 각각의 기능을 수행하기 위한 rule base module을 구성하고 각 module이 공동으로 전체 working memory를 access하도록 하여 module간의 정보의 흐름을 원활하게 하였다. 가공공정계획에 요구되는 가공system에 관한 정보에는 공작기계와 공구, clamping 기구에 관련된 정보와 절삭조건의 계산에 관련된 것이 있으며 이는 사용자의 입력을 통해 WME로 구성된다. 또한, 공작물의 가공형상에 관한 WME는 pre-processor와 가공형상인식 module을 거쳐 생성되고, 각 가공면의 가공기술에 관한 정보는 사용자가 입력한다.

(1) 가공공정 결정

공작물의 단면과 인식된 가공형상과의 상호 위치관계와 가공형상의 공구경로 유형으로 부터 가공방법을 결정한다. 가공공정결정 module은 외경가공의 경우 axial turning, radial turning, threading, parting-off, plunge cutting등의 공정과, 내경가공의 경우 drilling, reaming, internal threading, internal axial turning등의 공정을 추론하여 생성한다. 또한 각각의 절삭경계선에 주어진 표면거칠기에 따라 각 절삭경계선에 대응되는 가공면의 finishing 공정을 추가한다.

(2) 공구의 선정

공구선정 module은 각 가공공정에 대하여 공정의 종류와 이에 대응되는 절삭경계선의 기술기, 사용 가능한 공구의 재질과 기하학적 정보등을 참조하여 적절한 공구를 선정한다. 또한 Fig.6과 같이 절삭경로상에서의 공구와 공작물의 충돌검증을 통해 두가지 이상의 공구가 요구되는 가공형상을 찾고 공구경로 계산을 위해 공구경로 유형에 관한 정보를 수정한다.

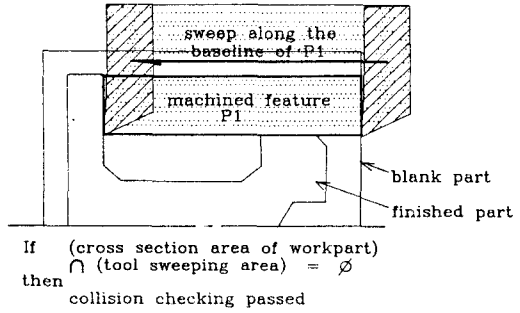


Fig.6 절삭경로상에서의 공구와 공작물의 충돌검증

(3) clamping 방법의 결정

앞서 선정된 공작기계에서 사용 가능한 clamping 기구에 대하여 공작물과 clamping 기구의 형상과 크기를 비교하여 적절한 clamping 기구를 선정하고 공작물의 blank part와 finished part의 형상정보로부터 clamping 가능한 면을 찾는다. 또한 공작물의 slenderness를 고려하여 심압대(live center)와 고정방진구(fixed steady)의 사용여부를 결정한다. 각 가공면 사이에 요구되는 공차에 따라 동일 clamping position에서 가공될 가공형상을 모아 공정순서결정 module에 필요한 정보를 생성한다.

(4) 공정순서결정

가공공정의 우선순위 결정은 단순한 algorithm에 의해 이루어지기 곤란하며 다양한 knowledge를 바탕으로 한 경험적인 판단 mechanism이 필요하다. 각 가공공정에 대응되는 가공형상간의 기하학적 우선순위와 가공면사이의 공차 유지를 위한 clamping position등이 주된 판단기준이 되며 하나의 공정에서 다음공정으로 sequence가 진행될때의 공구변경의 유무, 공구이동거리등이 고려되어야 한다. 본 system에서는 각각의 공정을 node로 하는 가공공정 tree를 구성하고 각 node를 연결하는 path에 대하여 cost를 산출하여 적절한 heuristic tree search algorithm에 의해 optimal path를 찾아 나감으로써 공정순서를 정하였다. 가공공정 tree에서 root node는 blank part의 set-up이 완료되어 첫번째 공정이 시작되기 전의 상태이며, goal node는 모든 공정을 마친 상태를 나타낸다. 각 child node는 parent node의 공정이 끝난 후 수행될 수 있는 공정을 나타낸다. 본 연구에서는 optimal path search algorithm의 하나인 Branch And Bound Procedure를 응용하여 Fig.7과 같이 공정순서결정 algorithm을 구성하였다. Fig.8은 Fig.5에 예시한 공작물의 경우 전체 가공공정 tree를 나타낸 것이다.

(5) 절삭조건의 계산

본 system에서는 절삭조건을 얻기 위하여 machinability database를 이용하였다. Expert CAPP system의 실제 적용에 사용된 EMCO 교육용 선반에 대하여 공정의 종류와 공작물과 공구의 종류, 공구 이송 방향등에 따른 절삭 실험을 통해 얻어진 data로 부터 적절한 절삭길이, 이송량, 절삭속도등의 절삭조건을 Fig.9와 같이 database화 하여 절삭조건에 관한 WME를 구성하였다. 절삭조건계산 module은 공작물의 재질로 부터 그에

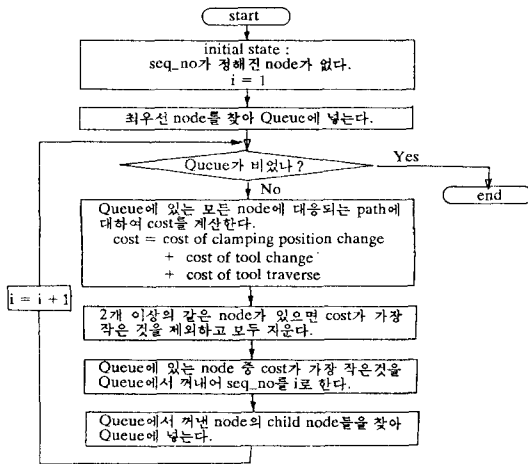


Fig.7 공정순서결정을 위한 heuristic tree search algorithm

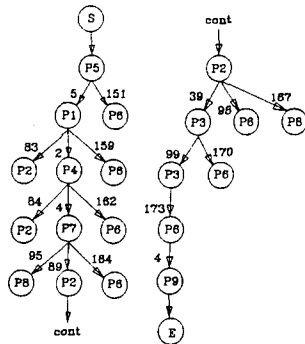


Fig.8 Fig.5의 공작물에 대한 가공공정 tree

다른 machinability database를 access하고 각 가공공정에 대하여 선정된 공구와 공구 이송 방향을 참조하여 database내의 적절한 절삭조건을 찾아 post-processor에서 이용할 정보를 생성한다.

Operation : Right Hand Axial Turning / ROUGH
Workpart Material : Brass
Tool : DCMT/SDJCR - GC415

direction of feed	surface roughness [μm]	max.depth of cut [mm]	feed rate [mm/min]	cutting speed [m/min]
ax	10.0	1.0	65.0	185.0
ax	8.0	1.0	45.0	180.0
ax	6.0	0.8	42.0	180.0
ra	10.0	0.2	40.0	185.0

Fig.9 EMCO CNC 선반에서의 절삭조건 database

(6) 공정계획서의 도출

위의 일련의 과정을 거쳐 생성된 정보들을 이용하여 공정계획서가 작성되고 이는 post-processor로 입력되어 NC

program 도출에 이용될 정보를 제공하게 된다.

5. CAPP/CAM Interface

Post-processor는 Expert CAPP System의 각 기능별 rule-base module을 거쳐 출력된 공정계획서를 입력으로 하여 공구경로를 계산하고 CNC 선반에서의 가공을 위한 NC program을 자동으로 생성한다. 각 가공공정에 대한 공구경로 계산을 위해 공정계획서에 포함된 공구와 공구경로 유형에 따라 가공형상을 이루는 각 절삭경계선의 기하학적 parameter와 절삭깊이로부터 가공형상의 일정위치를 원점으로 하는 공구경로를 계산한다. 계산된 공구경로는 각 절삭 path별로 절삭방향과 이송형태에 따라 구분되고 그에 따른 이송량을 찾아 최종적으로 NC program으로 변환된다. NC program은 자체 구성한 DNC module에서 RS-232C를 통해 공작기계로 전송되며 DNC module을 통해 가공명령의 전달과 공작기계상태의 monitoring등을 수행하여 보다 통합된 가공환경의 구축을 시도하였다.

6. 적용예

본 Expert CAPP System의 검증을 위해 Fig.5의 공작물에 대하여 Fig.10과 같이 modeling하고 CAD system에서 출력된 IGES file을 pre-processor에 입력하여 가공공정계획을 수행하였다. 전체 가공공정 tree (Fig.8)에서 각 path에 대응된 수치는 Fig.7의 공정순서결정 algorithm에 의해 산출된 cost이며 각 depth의 node 중 가장 작은 cost를 가진 node의 방향으로 탐색이 진행되어 가공순서가 결정된다. Fig.11과 Fig.12는 최종적으로 출력된 공정계획서와 post-processor를 거쳐 도출된 NC program이다.

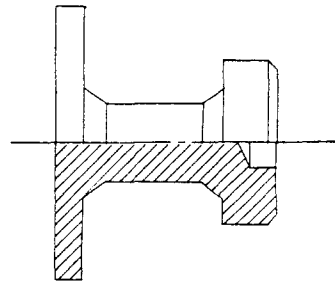


Fig.10 적용예의 2-D model

7. 결론

본 논문은 rule base 방법에 의해 전문가의 지식을 모방함으로써 CAD/CAPP/CAM의 통합에 제기되는 여러 문제들의 해결에 접근하는 하나의 방법론을 제시한다. Expert CAPP System의 개발과 실제 적용예를 통하여 다음과 같은 점들이 결론으로 제시되었다.

- 1) 공작물과 가공 system에 관한 기하학적, 기술적 정보들을 구조화하고 정량화하였으며 가공공정계획에 관계된 지식을 rule base로 구축하여 그 유용성을 입증하였다.
- 2) IGES file로부터 방향성을 갖는 절삭경계선을 구하고

```

-----
EXTURN Ver. 1.1 (c) copyright 1989, SNU/MDPE
-----
Plan No. 8 | Workpart : SH005 14:23-12/3/1989
-----
Material : C2700 (Brass)
Blank Part : D=40/L=27
Finished Part : MAX.D=40/L=21
-----
M/T : EMC0 compact 5 CNC
Tool : T1/T2/T3/T7/T11/D8/R8
Clamping Tool : 3JDC
-----
Seq. No. : 1
Operation : Clamping
Clamping_Position/LC/FS : Fbl.Fbo.NIL/NIL/NIL
:
:
Seq. No. : 4
Operation : RH_Axial_Turning_ROUGH
M_Feature/Cl/Cr : P1/C3/Cbr
Tool/Insert/Toolholder : T1/DCMT-6C415/SDJCR
Tool_Path_Pattern : RH_AX_P_LV_R0
Ypl/Ypo/Xli/Xlo/Xri/Xro : 20.00/13.00/6.00
: 6.00/27.00/27.00
MAX._DOC/Feed/S_RPM : 1.00/65/736
:
:
Seq. No. : 14
Operation : RH_Axial_Turning_FINISH
Face/Roughness : F3/4
MAX._DOC/Feed/S_RPM : .02/34/736
:
:

```

Fig.11 적용예의 공작물에 대한 공정계획서

```

%
N' G' X' Z' F' H
00M03
01 00 - 200 - 100
02 84 -1000 - 2400 65 100
03M26 01
04 00 00 5200
05M06 - 100 00 T03
06 88 -1500 - 400 35 80
.
.
64M30
M

```

Fig.12 NC program

pattern 인식을 통하여 가공형상을 찾았다.

- 3) 가공공정 tree를 구성하고 heuristic search algorithm을 이용하여 가공의 우선순위를 결정할 수 있음을 보였다.
- 4) 가공형상에 따른 공구경로 유형을 분류하고 절삭경계선과 공구의 기하학적 parameter로부터 공구경로를 계산하여 NC program을 생성하였으며, 실제 가공을 수행하여 만족할만한 결과를 얻었다.

앞으로 2차원 자유곡선으로 정의되는 절삭경계선을 가지는 공작물의 경우와 비대칭 단면을 갖는 공작물의 경우, 복잡한

내면가공이 요구되는 경우 등으로 가공형상인식과 가공공정계획의 범위를 확대시켜 나가야 하겠으며 다양한 공구와 clamping 기구에 대한 선정기준의 확립이 필요하다. 또한, 공정계획 전문가의 know-how 습득을 통한, 계속적인 rule base의 수정과 보완이 뒤따라야 한다.

8. 참고문헌

- [1] Chang, T. C. and Wysk, R. A., "An Introduction to Automated Process Planning System", Prentice-Hall, 1985.
- [2] Rembolt, U. and Dillmann, R., "Computer Aided Design and Manufacturing", Springer-Verlag, 1986.
- [3] Charniak, E. and McDermott, D., "Artificial Intelligence", Addison-Wesley, 1985.
- [4] Winston, P.H., "Artificial Intelligence", Addison-Wesley, 1984.
- [5] Brownstone, L. et al., "Programming Expert Syste in OPS5", Addison-Wesley, 1985.
- [6] 이 진환, "Knowledge Base 방법에 의한 각주형 공작물의 가공형상인식 및 가공공정계획", 서울대학교 석사학위 논문, 1988.
- [7] Ham, I, "CAD/CAM Integration through Computer Aided Process Planning (CAPP)", Proceedings of Korea-U.S.A. Design Eng. Seminar, pp. 429-446, 1988, 10.
- [8] Wang, H. P., Wysk, R. A., "TURBO-CAPP: A Knowledge-Based Computer Aided Process Planning System", 19th CIRP Int. Sem. on Manufacturing Systems, pp. 161-167, 1987, 6.
- [9] "Initial Graphic Exchange Specification (IGES), Version 2.0", U.S. Dep. of Commerce, 1983.
- [10] "Sierra OPS5 User's Guide and Reference Manual", Inference Engine Technologies, Inc., 1988.