

군분류 기술과 룰베이스를 이용한 공정계획 시스템 개발

이교일* · 이흥희** · 노상도* · 심영보* · 조현수*

A Process Planning System Using Group Technology and Rule Base

Kyo Il Lee · Hong Hee Lee** · Sang Do Noh · Young Bo Shim · Hyun Soo Cho

(Abstract)

Computer Aided Process Planning(CAPP) has been emerged as playing a key role in Computer Integrated Manufacturing(CIM) as the most critical link to integrate CAD and CAM, and therefore much effort has been dedicated to the structure and creation of CAPP system. In this research, a modified variant CAPP system based on process planning rule base is developed, which generates process plans for parts automatically where GT code data are provided as input. In order to execute process planning, rules are constructed in the form of Decision Tree and this system has the inference engine that extracts the result of process planning on the basis of tree-structured rules which are concerned with manufacturing processes.

1. 서론

공정설계란 공학적인 설계를 토대로 원자재, 공장의 생산설비, 기타 다른 생산에 관련된 가용자원을 이용하여 최종 생산품으로 만들기까지의 과정에 대한 상세한 지시를 준비하는 과정으로서, 크게 전체적인 생산공정에 관한 거시적 결정을 수행하는 공정계획단계와 각 공정에 포함되어 있는 구체적 작업에 대한 미시적 의사결정을 수행하는 작업계획단계로 구분된다.⁽¹⁾

본 연구에서는 군분류기술(GT:Group Technology)을 기반으로 하는 공정설계 지원 시스템의 공정계획 모듈을 개발하였다. 일반적으로 군분류 기술을 이용하는 공정계획 시스템은 부품족(Part Family)과 표준공정계획(Standard Process Plan)에 의존하는 방법을 사

용하나 본 논문에서는 공정계획의 정확성을 높이기 위하여 각 GT 코드에 대해서 공정계획을 생성하는 공정계획 시스템을 개발하였다. 개발된 공정계획 시스템은 부품에 대한 GT 코드를 입력으로 받아 트리구조로 구성된 룰베이스에 의거한 톱 다운형 추론을 통하여 공정계획 단계의 결과를 도출해내는 시스템이다.

2. 공정분석작업

2.1 부품의 코딩

대상 회사를 위하여 개발된 GT 코딩 시스템인 SS 코딩 시스템을 이용하여 생산부품에 대한 공정분석 작업을 수행하였다⁽²⁾. SS 코딩 시스템은 각 Digit마다

* 서울대학교 기계설계학과

** 인하대학교 산업공학과

36개의 Alphanumeric으로 구성되어 있어서 최대한의 확장성과 유연성이 확보되어있다. 또한 부품에서 나타나는 모든 특징형상(Feature)들을 추출하고 이를 분류함으로써 코드정보로부터 공정계획수행 결과를 얻어 내기에 용이한 GT 코딩 시스템이다. 특히 각 Digit마다 다중선택(Multi-Pick)을 가능하게 함으로써 형상의 조합을 나타내기 위한 코드의 손실을 최소화할 수 있다. <그림 1>은 SS 코딩 시스템의 코드체계를 나타낸다. 또한, 대상부품에 대한 SS 코딩 결과와 해당 부품에 대한 공정정보 데이터베이스는 관계형 데이터베이스를 이용하여 구축하였다.

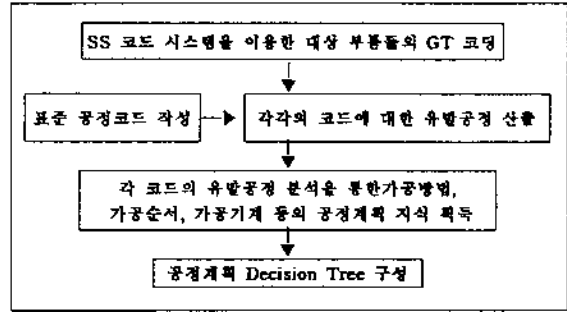
Digit	부 품 분 류	
	의 미	
	회전형상	비회전형상
1	부품명칭	
2		
3	재질	
4	치수	치수
5	치수 및 치수비	무게 및 치수비
6	주외면	주외면
7	외면형상	외면보조형상
8	외면형상 - 기어 및 나사	벤딩
9	구멍치수 및 정밀도	
10	주구멍	주구멍
11	주구멍형상	주구멍형상
12	보조구멍방향	보조구멍방향
13	보조구멍 - 특이형상	
14	기타 가공	
15	정밀도	

<그림 1> SS코딩 시스템의 구성체계

2.2 공정 분석

군분류 기술을 이용한 공정계획 시스템의 개발을 위하여 대상 공장의 생산부품에 대한 공정분석 작업을 수행, 공정계획 룰베이스를 구성하고 이를 Decision Tree를 사용하여 구체화하였다. 공정계획 룰베이스 구성을 위한 공정분석작업은 <그림 2>와 같다.

GT 코드를 이용하여 필요한 공정을 추출하고,공정



<그림 2> 공정분석 절차

상호간의 연관성을 파악하여 이를 룰베이스로 구현하기 위하여 공정을 몇개의 기본적인 공정 그룹으로 분류하였다. 일반적으로 공정은 크게 기본공정(Basic Process), 주공정(Principal Process), 보조공정(Auxiliary Process), 지원공정(Supporting Process)으로 구분된다⁹⁾. 기본공정은 실제 제조공정을 정의하기에 앞서 입고되는 재료에 최초의 형상을 부여하는 공정으로, 일반적으로 생산공정의 공정일부에는 포함시키지 않는다. 주공정은 제조형태의 핵심을 이루는 공정으로 드릴링, 밀링, 선삭, 연삭 등의 공정이 이에 속한다. 한편, 주어진 주공정내에서 공정 순서를 결정하다보면, 어떤 공정은 다른 공정의 보조를 받아야 할 필요가 발생하는 경우가 있다. 이와같이 어떤 공정의 원료를 위해 필요한 공정, 예를 들면 열처리, 용접, 다듬질, 센터드릴링등의 공정을 보조공정이라고 한다. 지원공정은 주공정의 일반적 개념 밖의 공정으로서 검사 및 품질관리, 운반 및 포장등이 있다.

본 연구에서는, 전술한 공정분류기준에 근거하여 공정분석을 수행하기 위한 2 Digit로 구성된 표준공정코드를 정의하였다. 표준공정코드는 데이터베이스 구성과, 구성된 여러가지 데이터베이스 사이의 데이터 비교, 정리 및 관리, 그리고 각 Digit의 코드별 유발공정의 분석작업을 효율적으로 수행하기 위하여 정의되었다. <표 1>은 정의된 공정코드를 나타낸다.

부품에 대한 GT 코드와 공정 데이터베이스를 이용하여 코드별 유발공정분석작업을 수행하였다. 즉, 실제현장에서 이미 공정계획이 완료되어 생산되어 있는 부품들을 대상으로 그 부품들의 GT 코드를 입력하고 그 부품에 대한 공정마스터를 불러내어 각 공정별 해

(표 1) 표준공정코드

Code	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 전처리	입재 소재투입	절단(sawing)								기타
1 DRILLING	일반 drilling	reaming	tapping	center - drilling	counter-boring counter-sinking spotfacing	gun-drill 등의 deep holing				기타
2 TURNING	외주 turning	boring	facing	홈 및 절단	나사가공	통형절삭 (forming)	모방절삭			기타
3 MILLING	* 면삭	* 측면가공	end-mill 홈가공	넓은경사면	좁은경사면 (chamfering 포함)	기어가공	평면작기 (planing)	모방절삭		기타
4 특수절삭	broaching	hobbing	Jig-boring							기타
5 GRINDING	원통외면연삭	원통내면연삭	평면연삭	기어연삭 (spline 포함)	경사면연삭	centerless grinding				기타
6 특수연삭	super finishing	honing	lapping	polishing						기타
7 비절삭공정	열처리	bending	용접	좌색, 도장	도금	표면처리	조립	소성가공	편심교정	기타
8 후처리	면취(졸질)	사상 (sandpaper)	세척	완성 후 절단	검사	입고				기타
9 기타	선반축 centering	[0] 이외의 positioning								기타

당공정코드와 그공정과 관련된 형상 및 가공정보를 나타내는 Digit와 코드를 입력한다. 이러한 모든 정보의 관리 및 운용을 위한 관계형 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 통하여 GT 코드의 특정 Digit의 코드별 유발공정을 정의하였고, 이를 공정계획 롬베이스 및 Decision Tree 구성의 기초자료로 사용하였다.

여기에서 알수 있는 것과 같이, 각각의 공정에 대하여 그 공정을 유발시킨 GT코드 Digit와 코드, 그리고 기계와 표준공정코드등의 정보가 입력, 관리된다. 이와 같이 구축된 데이터베이스를 통하여 SS 코드에 의해 유발되는 공정을 도출하였으며, 이를 공정설계 Decision Tree 구성의 기초자료로 사용하였다.

3. GT 코드를 입력으로 하는 공정계획 시스템의 개발

이상의 과정을 통하여 대상 플랜트의 생산부품에 대한 공정분석작업을 수행하여 GT코드와 해당공정, 형상정보와 해당공정, 공정과 기계 및 기타 정보등에 관한 지식을 습득하였다. 습득된 지식을 이용하여 GT를 이용한 규칙기반 공정계획 시스템 (Rule Based CAPP System)을 구성하기 위하여는 GT 코드를 이용

하여 각 공작물에 대한 가공방법, 가공순서, 가공기계등을 포함하는 공정정보를 결정할 수 있어야 한다. 이를 위하여 획득된 공정정보를 바탕으로 공정계획 룰을 결정하고, 이를 트리구조를 사용하여 구체화하였다. 공정분석 작업에 따라 얻어지는 지식에는 다음과 같은 것들이 있다.

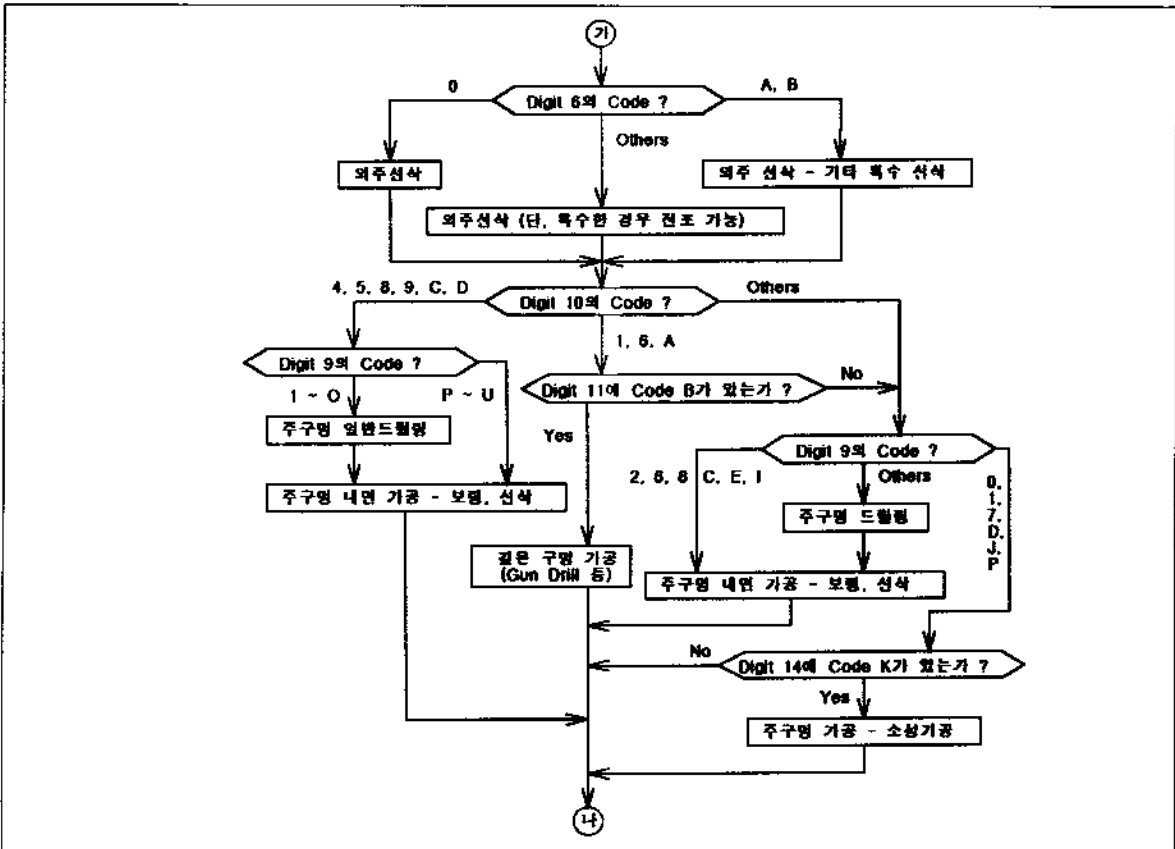
- * SS 코드에 의하여 정의되는 형상정보와 그에 따라 요구되는 공정에 관한 지식
- * 공정사이의 관계, 기계배치 및 기타사항에 따른 각 가공공정의 순서 결정에 관한 지식
- * 특수공정과 이에 따른 작업에 관한 일반적인 지식

3.1 공정계획 알고리즘

대상부품들의 가공공정은 크게 가공전처리, 주의면형상 가공공정, 보조외면형상 가공공정, 주구멍형상 가공공정, 보조구멍형상 가공공정, 후처리공정으로 분류된다. 가공전처리 공정은 입고된 주물소재를 필요한 크기로 절단하거나 두개 이상의 소재를 용접하여 가공라인에 투입하는 등의 공정들로 관련정보는 SS 코딩 시스템의 14번 Digit에 코딩된다. 주의면/보조외면형상 가공공정은 부품의 외면특징형상을 정의하는 6,

7, 8번 Digit가 관련된다. 주구멍/보조구멍 가공공정에 필요한 정보는 9, 10, 11, 12, 13번 Digit에서 추출해내며, 외면/내면연삭, 열처리, 표면처리, 도장, 다듬질등으로 구성되는 후처리공정 관련 정보는 14, 15번 Digit에서 얻어진다.

정을 도출해 낸다. 선반작업에서는 가공치수의 누적오차와 가공단면의 형상공차를 허용범위이내로 하기위해서 외경/내경 선삭 이전에 반드시 기준면 가공과 선반측 센터링 작업이 반드시 선행된다. 15번 Digit를 통해 기준면 가공을 위한 작업구분을 설정하고 9, 12, 13



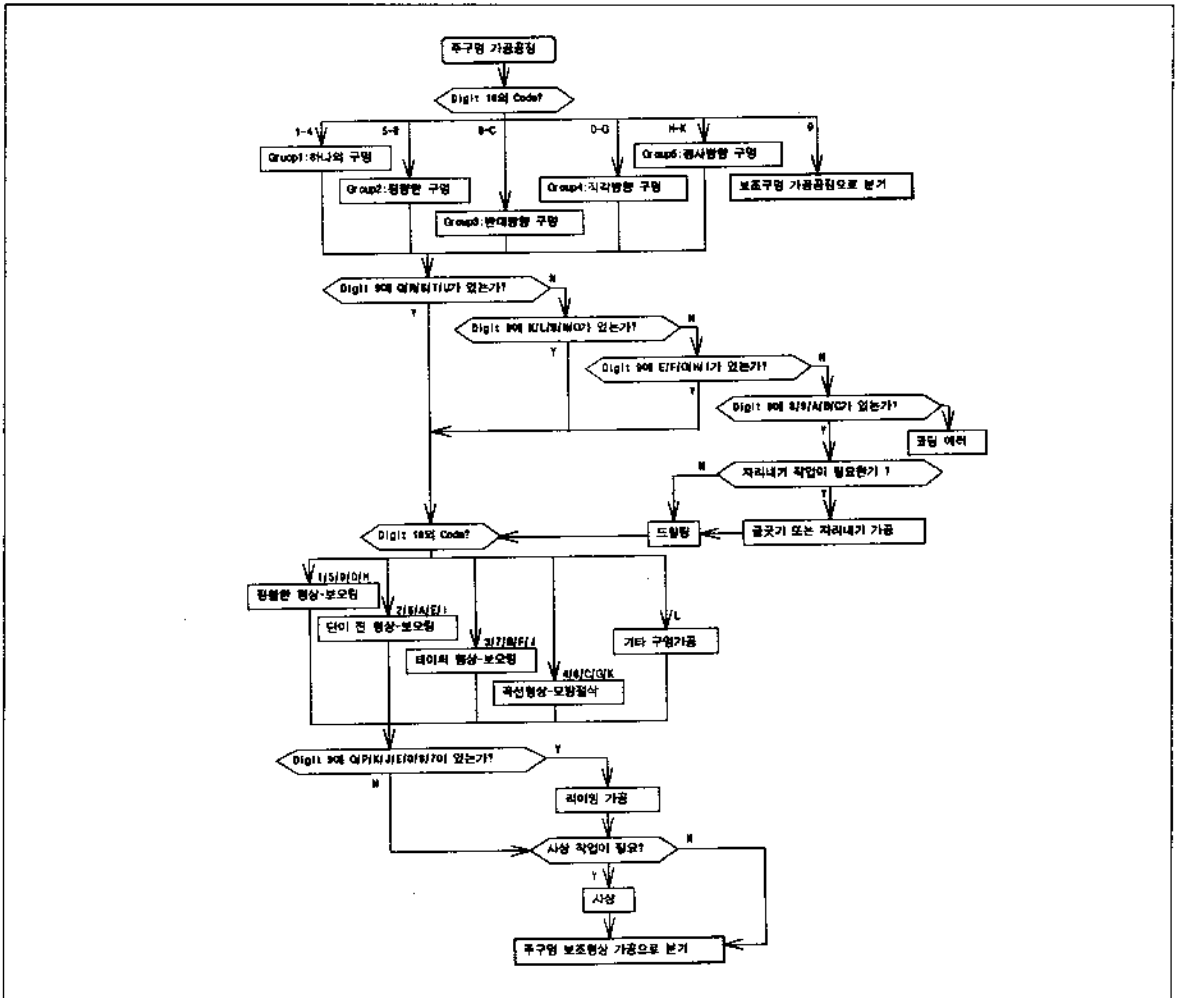
〈그림 3〉 회전형 부품의 공정계획 알고리즘(외경 및 주구멍 가공부분)

한가지 특정형상을 가공하기 위하여 여러가지 가능한 공정들이 존재할 수 있다. 이러한 경우에는 해당 코드에 대해 가능한 공정들을 모두 결과로서 제시한 후 사용자에게 의하여 선택된 공정을 최종결과공정으로 결정하도록 하였다.

3.1.1. 회전형상

회전형상 부품들은 대부분의 공정이 주로 선반에서 이루어지므로 공정설계가 비회전형상 부품에 비해 용이하다. 소재 입고후 14번 Digit를 참조하여 전처리 공

정을 도출해 낸다. 선반작업에서는 가공치수의 누적오차와 가공단면의 형상공차를 허용범위이내로 하기위해서 외경/내경 선삭 이전에 반드시 기준면 가공과 선반측 센터링 작업이 반드시 선행된다. 15번 Digit를 통해 기준면 가공을 위한 작업구분을 설정하고 9, 12, 13번 Digit를 통해 센터링 구멍에 대한 가공정보를 얻는다. 회전형부품의 경우 고정밀도를 보장하기 위한 전용기계를 사용하지 않는한 내/외면 가공과 구멍가공 등은 선삭공정으로써 해결이 가능하므로 공정순서결정에서 선삭공정과 드릴링공정이 항상 연결된다. 외면 가공의 경우 6번 Digit, 주구멍,보조구멍 가공의 경우 9, 10, 12번 Digit가 관련된다. 또한 7, 11, 13번 Digit에 나타나 있는 보조형상 중에서 선반작업으로 가공이 가능한 원주방향의 홈과 같은 형상의 가공이 이어진다. 구멍가공의 경우 각 구멍에 대한 치수와 정밀



(Fig. 4) A Part of Decision Algorithm for Nonrotational Part

도 관련 정보를 포함하고 있는 9번 Digit를 참조하여 공정을 결정한다. 이후 보조형상의 가공중에서 밀링공정으로 가공 가능한 형상에 대한 공정들을 도출해낸다. 8번 Digit에서는 외면의 형상중에서 특수한 전용기계등을 사용하여 가공 신뢰도를 보장해야 하는 형상들을 정의하므로 가공순서상 주구가공공정중 마지막에 위치하게 된다. 다음으로 후처리공정이 연결된다. 가공면의 정밀도를 얻기 위한 연삭공정 관련 정보는 9번, 15번 Digit에 정의되어 있고 14번 Digit를 참조하여 마무리를 위한 비절삭공정들을 추출해낸다.

3.1.2. 비회전형상

비회전 형상 부품들은 판재(Sheet Part)와 각재(Prismatic Part)에 따라 주외면형상 가공공정이 달라진다. 판재의 경우 대부분은 벤딩공정을 통하여 삼차원형상을 만든 후 구멍가공공정으로 진행하고, 각재의 경우와 같은 밀링공정은 나타나지 않음을 알 수 있었다. 판재와 각재와의 구분은 4번 Digit의 정보를 이용하여 이루어진다. 일반적으로 GT Code는 부품의 형상에 관한 정보를 나타내지만 비회전형상 부품중에는 주물에 의한 복잡한 형상의 소재가 입고되는 경우 외면형상을 추상화하여 코드를 부여하는 작업과 가공해야 할 면의 수를 도출해내는 것 또한 불가능하게 된다. GT코딩 시스템의 비회전형상 6번 Digit의 경우는

입고된 소재의 가공면 수를 기준으로 코딩을 하므로 이 문제를 극복할 수 있다. 즉, 6번 Digit는 1에서 H까지의 코드가 크게 4개의 그룹으로 분류되어 있다.

그룹	코드	포함정보	다중선택
1	1 - 7	가공면 수	불가능
2	8, 9	가공면 방향	가능
3	A, B	가공면 주형상	가능
4	C - H	가공면 부형상	가능

〈표 2〉 Digit 6의 코드에 대한 분류체계

가공면의 주형상은 평면가공과 단가공으로 나누어진다. 가공면의 부형상은 주형상과는 달리 가공시에 특별한 셋업이나 공구가 필요한 경우 또는 일반 절삭가공으로는 불가능하여 특수가공이 요구되는 평면을 나타낸다. 따라서 6번 Digit에 의해 유발된 결과 공정의 형식은 다음과 같이 나타난다.

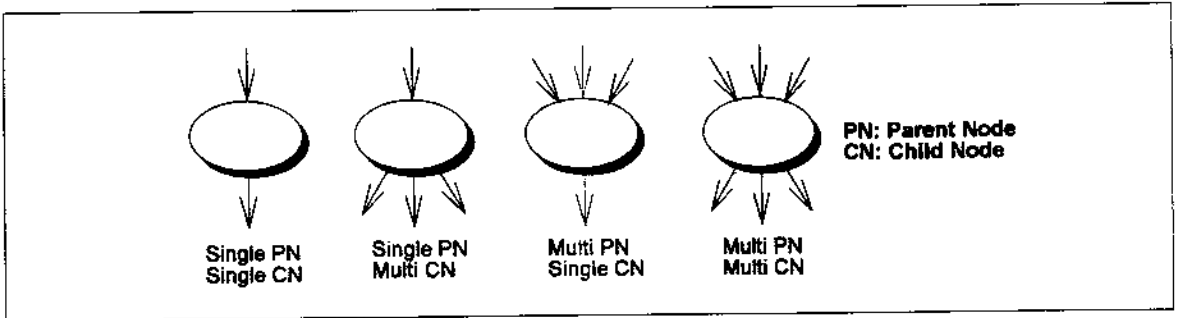
형상(평면/단가공)-가공면 수-가공면방향(전·배면/상·하면)-특수면 가공

또한 외면의 보조형상 정의코드(Digit 7), 주구멍, 보조구멍의 보조형상정의코드(Digit 11, Digit 13), 후처리가공 관련코드(Digit 14, Digit 15)에서는 각 코드당 공정이 하나씩 도출되는데 GT 코딩 시스템의 경우 다중선택이 가능하므로 각 형상그룹내에서 다중선택의 결과로 나타난 공정들의 순서를 정의하는 문제가 발생하게 된다. 따라서 이런 경우에는 사용기계를 고려하여 정의한 우선순위에 의해 공정순서를 결정한다.

3.2 공정계획 Decision Tree의 구성

지금까지의 공정분석결과를 바탕으로, 대상부품의 SS 코드정보를 가지고 부품에 대한 공정설계를 수행하기 위한 룰베이스를 트리구조를 사용하여 구성하였다. 구성된 Decision Tree의 노드는 다음 네가지 형태로 분류된다.

또한, 구성된 공정계획 Decision Tree의 노드 데이터 구조는 〈그림 6〉과 같이 지정되어있다.



〈그림 5〉 Decision Tree노드의 종류

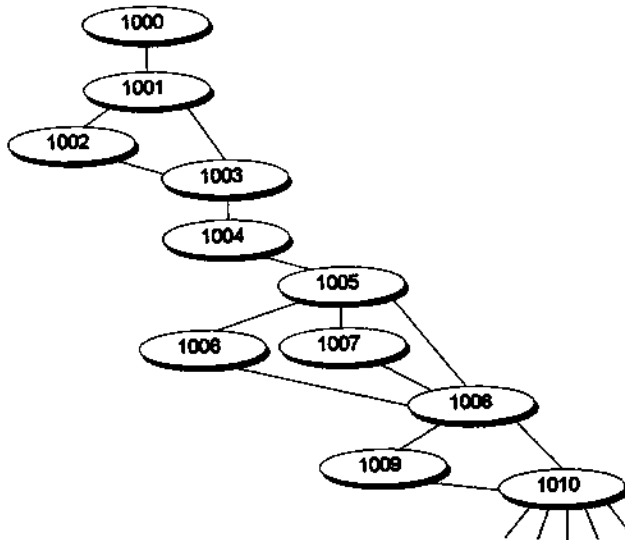
Node-ID	Node-Type	Parent Node ID	Child Node ID	Number of Parent Node	Number of Child Node	Condition Code	Condition Digit	Process Code	Process
---------	-----------	----------------	---------------	-----------------------	----------------------	----------------	-----------------	--------------	---------

Node Type이 C: 조건에 따른 분기를 위한 노드
Node Type이 P: 조건 코드와 디지털에 의거하여 공정을 출력하는 노드

〈그림 6〉 노드의 데이터 구조

Decision Tree 구성시 추후 공정계획 룰베이스의 수정, 보완에 유연하게 대처할 수 있도록 하였다. 이것은 공정계획 Decision Tree가 함유하고 있는 공정계획 지식 자체가 변화할 수도 있고, 사용자가 변경할 필요를 느낄 수 있기 때문이다.

획을 룰베이스로 구현한 노드데이터 파일을 읽어서 전향추론으로 도출된 공정계획 결과를 출력해 내는 일이다. 추론엔진은 C 언어를 이용하여 Workstation상에서 구현되었으며, 공정계획 모듈로부터 호출을 받으면 실행파일 engine이 작업을 개시한다.



Node No.	Node Type	Parent—Node—ID	Child—Node—ID	Num—of—PN	Num—of—CN	Cond Code	Cond Digit	Pro Code	Process
1000	R	*	1001	0	1	*	*	00	입재
1001	C	1000	1002, 1003	1	2	*	*	*	*
1002	P	1001	1003	1	1	16	*	01	소재절단
1003	C	1001, 1002	1004, 1005	2	2	*	*	*	*
1004	P	1003	1005	1	1	14	B	70	열처리-조절
1005	C	1003, 1004	1006, 1007, 1008	2	3	*	*	*	*
1006	P	1005	1008	1	1	15	3,4,7,8,B,C,D	30	기준면가공-면삭,밀링
1007	P	1005	1008	1	1	15	1,2,5,6,9,A	22	기준면가공-Facing,선삭
1008	C	1005, 1006, 1007	1009, 1010	3	2	*	*	*	*
1009	P	1008	1010	1	1	16	*	13,90	센터내기-선반속 센터드릴링 센터내기-전용기계
.
.
.

* Procode가 16인 경우, 주어진 공정중에서 사용자에게 의해 선택되어진 공정을 결과로 출력한다.

〈그림 7〉 구성된 Decision Tree와 그에대한 노드 데이터

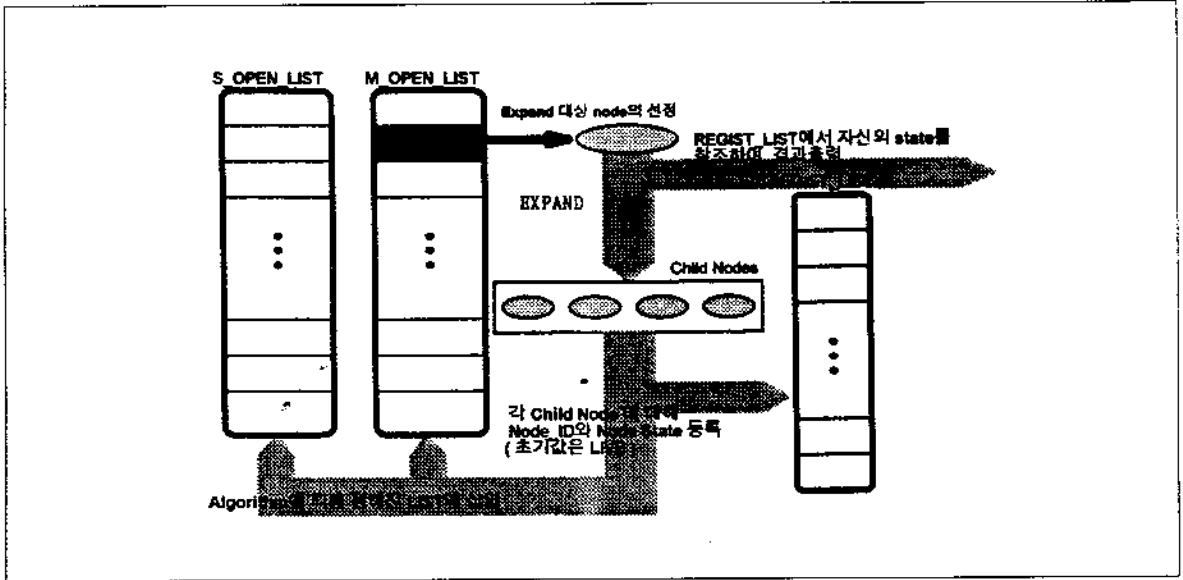
3.3 개발된 추론엔진

추론엔진의 역할은 회전/비회전 형상부품의 공정계

추론엔진은 우선 공정계획 시스템으로부터 공정생성을 원하는 부품의 GT 코드를 입력받는다. 입력된 코드로부터 주어진 부품의 형상이 회전형인지 비회전

형인지 판단하여 그에 따른 룰베이스에 의해 Decision Tree를 탐색하면서 공정을 생성한다. <그림 8>은 추론 엔진에서의 탐색 알고리즘의 수행과정을 도식화한 것이다.

데이터베이스를 개발, 구축하였다. 개발된 공정계획 시스템은 표준공정계획을 사용하는 Variant CAPP 시스템에 비하여 보다 정확하고 상세한 공정계획을 제공하여 줄 수 있었고, 새로운 부품에 대해서도 공정계



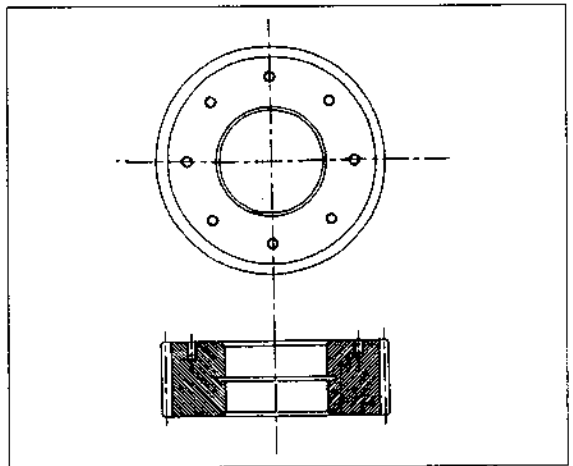
<그림 8> 추론엔진의 탐색절차

4. 개발된 공정계획 시스템의 적용결과

대상 플랜트에서 생산하고 있는 부품중, 시스템 개발시 참조하지 않은 부품에 대해 SS 코드결과를 입력하여 공정을 생성해 본 결과는 다음과 같다.

5. 결론

본 연구에서는 국내의 한 중공업 회사를 대상으로 GT 코드로 부품의 설계정보를 인식하여 각 GT 코드에 대한 공정을 생성, 이를 기반으로 공정계획을 수행하는 Rule Based CAPP 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 GT 코딩 시스템으로는 대상 회사를 위해 개발된 GT 코딩 시스템을 사용하였고 공정계획 룰 베이스 구성과 Decision Tree를 이용한 룰베이스의 구현, 그리고 추론을 위한 Inference Engine을 자체 개발하였으며 공정과 GT Code등의 모든 정보를 관리하는



<그림 9> 공정계획 대상품목

획이 가능하며 부품족 분류가 곤란한 특이부품에 대해서도 공정계획이 용이하였다. 본 시스템을 실제 생산 부품에 시험적용하여 만족할 만한 결과를 얻었다.

도면번호		B144-65012-00														
GT Code	Digit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Code	1	4	C	2	3	0	P	6	E,F	1	1.A	1	2	1	1.2.5 .6.A
공정번호		공정														
1		공정계획														
2		입재														
3		소재절단														
4		기준면 가공-Facing, 선삭														
5		센터내기-선반축 센터가공														
6		외경가공-직경변화없는 외면, 함삭														
7		외경가공-직경변화없는 외면, 정삭														
8		보오일-주구멍														
9		내경가공-원주방향 기능적인 홈, 선삭														
10		내경가공-내면 모따기, 선삭														
11		금긋기-보조구멍 자리														
12		드릴링-보조구멍														
13		구멍가공-보조구멍, 리이밍														
14		구멍가공-보조구멍의 나사, 팸핑														
15		깔면가공-외부 모따기, 선삭														
16		기어가공-원형기어, 호닝														
17		중간검사-외면형상														
18		침한검화-표면처리														
19		내면연삭-원통내면														
20		외면연삭-원통외면														
21		평면연삭														
22		면취														
23		사상 입고														

(그림 10) 대상부품에 대한 GT 코드와 공정계획 결과

【참고문헌】

[1] Hitomi, K., "Manufacturing System Engineering", Taylor & Francis Ltd., 1979

[2] Chang, T.C., Wysk, R.A., "An Introduction to Automated Process Planning System", Prentice Hall Inc., 1985

[3] 김동원, "기계공작법", 청문각, 1990

[4] 이상진, 이흥희, 이교일, "컴퓨터 원용 공정계획을 위한 군분류 시스템 개발에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 447~451, 1993

[5] 이교일, "지적공정계획기술의 GT Based DB 분류 기술개발(G7 과제 연구개발 보고서), 서울대학교 정밀기계설계연구소, 1994

[6] Eversheim, W., Esch, H., "Automated generation of process plans or prismatic parts," Annals of CIRP, vol. 32/1/83, 1983, pp. 361-364

[7] Alting, L., Zhang, H., "Computer Aided Process Planning: The state-of-art-survey," International Journal of Production Research, vol.27, no. 4, pp. 553~585, 1989



이교일
 1942년 7월6일생
 1966년 서울대학교 학사 (기계공학)
 1971년 독일 Aachen 공대 석사 (생산공학)
 1978년 독일 Aachen 공대 유압제어 박사
 현 재 서울대학교 기계설계학과 교수,
 서울대학교 공학연구소 소장
 관심분야 : 유공압, 제어, 생산자동화,
 GT, FMS/CIM, CAPP

**이흥희**

1958년 12월 20일생

1981년 서울대학교 학사 (기계설계)

1983년 서울대학교 공학석사 (기계설계)

1991년 미국 펜실바니아 주립대학 산업공학 박사

현 재 인하대학교 산업공학과 조교수

관심분야 : CIM, CAM, CAPP

**노상도**

1971년 1월 10일생

1992년 한국과학기술원 학사 (정밀공학)

1994년 서울대학교 공학석사 (기계설계)

현 재 서울대학교 기계설계학과 박사과정 재학 중

관심분야 : FMS/CIM, GT, CAPP, 전문가 시스템

**심영보**

1970년 8월 1일생

1994년 서울대학교 학사 (기계설계)

현 재 서울대학교 기계설계학과 석사과정 재학 중

관심분야 : CAPP, CAD/CAM, 전문가 시스템

**조현수**

1970년 7월 5일생

1994년 서울대학교 학사 (기계설계)

현 재 서울대학교 기계설계학과 석사과정 재학 중

관심분야 : CAPP, 신경회로망, 인공지능