

전문가 시스템 접근법을 이용한 기계가공용 셋업계획[†]

정 영 득*

Setup Planning for Machining processes
Using Expert System Approach[†]

Yeong-Deug Jeong*

Abstract

Setup planning for machining processes is a part of fixture planning which is also a part of process planning. A setup of a part is defined as a group of features which are machined while the part is fixtured in one single fixture. Setup planning includes a number of tasks such as the selection of setup, sequence of setups and datum frame for each setup. Setup planning is an important function in fixture planning which must be able to support and to clamp a workpiece to prevent deflections caused by machining and clamping loads.

This paper presents setup planning system using expert system approach(SPES) for prismatic parts which can be machined on vertical milling machine. SPES consists of preprocessing module and main processing module. Preprocessing module executes the conversion of feature data to frame type data and the determination of setups, and main processing module executes the determination of datum frame of each setup and sequence of setups. Preprocessing module is coded by C language and main processing module is a rule-based expert system using EXSYS pro.

The performance of SPES is evaluated through case studies and the results show successful work except for operation sequence of machining holes. This is due to the limited rules for machining holes.

†이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

* 부산공업대학교 금형공학과

1. 서론

기계가공을 위한 공정설계(process planning)는 사용기계의 결정, 가공순서의 결정과 같은 거시적 의사결정을 하는 공정설계와 작업장(work station)에서의 구체적인 작업면의 그룹, 그것의 순서, 작업조건, 표준시간 및 치구의 결정과 같은 미시적 의사결정을 하는 작업설계로 구성된다[1]. 셋업계획(setup planning)은 작업설계의 한 분야로서 셋업의 결정, 셋업순서의 결정, 셋업내의 작업순서의 결정을 포함하며[2], 공작물 고정계획(fixture planning)의 핵심적 기능을 담당한다. 여기서 셋업이란 공작물의 한번 고정으로 1회에 가공될 가공면의 그룹으로 정의한다. 한편, 기계가공의 효율적인 자동화를 위해 CAD와 CAM의 통합에 교량 역할을 하는 공정설계의 자동화(CAPP; Computer Aided Process Planning)에 대해 과거 수십년 동안 많은 연구가 수행되었으나, 그 중에서 셋업계획과 치구설계의 자동화는 대단히 낙후된 분야이다[3].

최근에 규칙베이스를 이용한 자동공정계획 시스템이 많이 발표되고 있으나, 아직은 공정계획 전체를 다룬 것은 없으며, 주로 부품의 형상특징에 대한 기호의 인식에 의해 가공공정을 선택하고 순서를 결정하는 시스템 들이며, 셋업계획을 전문적으로 다룬 것은 드물다. 전문가 시스템을 이용한 셋업계획에 관계되는 것으로 Hayes[4]는 작업의 구속과 셋업의 순서에 형상특징의 상호작용을 전문지식으로 이용하였으며, Saito[5]는 구멍가공의 작업설계에 한정시켜 전문가시스템을 적용하였는데, 다단구멍에 대한 가공순서의 우선관계의 지식과 그것을 제어하는 메타룰(meta rule)을 이용하였다. Wright[6]는 부품의 형상특징과 재료조건에 대한 지식을 이용하여 전문가 시스템을 설계하였다.

본 연구에서는 기계가공 부품 중에서 비회전 형

상부품을 대상으로 하여 제조상 의미를 갖는 기하형상 요소인 형상특징(feature)을 이용하여 공작물 셋업계획의 부품표현 기법을 개발하고, 이것을 입력 데이터로 하여 지식베이스를 이용한 처리와 알고리즘적인 처리를 혼용하는 소위 텐덤형 시스템(tandem system)[7]을 프로토타입(prototype)으로 개발하여 셋업계획의 결과를 자동으로 출력토록 한다.

연구의 주 내용은 셋업계획을 위한 부품표현 기법의 개발, 셋업결정을 위한 알고리즘의 개발, 전문가 시스템의 구조설계 및 셋업순서와 데이터 체계의 결정에 적용할 규칙베이스의 구축에 두었다. 개발된 시스템의 타당성 검사는 실제 부품도면에 대한 사례연구를 통해 검사한다. 지식베이스의 코딩은 전문가 시스템 개발용 셸(shell)중의 하나인 EXSYS Pro(EXSYS, Inc.)를 이용하였다.

2. 셋업계획 및 전문가 시스템

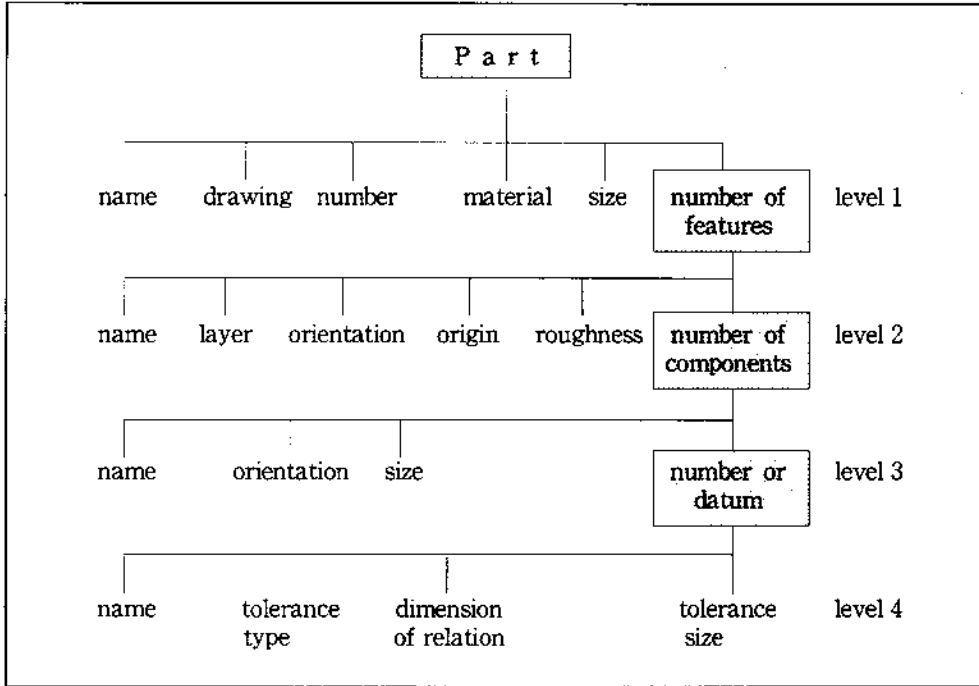
2.1 셋업계획을 위한 공작물 표현기법

형상특징(feature)은 의미를 갖는 부품형상 중의 기하형상으로 응용분야에 따라 다르게 정의되며, 제품의 종류와 제조설비 등의 요인에 따라 관점이 변하면 형상특징의 대상도 변하게 된다. 본 연구에서의 형상특징은 비회전형상품을 대상으로 구멍, 포켓, 슬롯, 홈, 스텝 및 평행평판으로 평행평판을 제외하고는 관통형과 비관통형으로 분류하여 모두 11종으로 정의하여 사용하였다[8].

[그림 1]은 본 연구에서 공작물 셋업계획용 부품의 표현방법으로 채용한 부품의 속성에 대한 계층구조를 나타낸 것이다. 부품 표현을 위한 계층구조에 사용한 속성은 부품의 명칭, 도면, 재질, 크기 등의 일반 정보와 각 형상특징들에 대한 가공정보로 구성된다. 형상특징에 관한 속성은 명칭, 층수, 가공방향, 원점, 표면조도와 구성요소면의 명칭,

방향, 크기 및 제조특징의 가공에 필요한 데이터의 명칭, 공차의 종류, 관련치수 및 공차의 크기로 구성된다. 이들 각 속성은 모두 부품도에서 바로 획득

할 수 있는 값이거나 코드로 구성되는 데이터들이다[8].



[그림 1] 부품표현을 위한 속성의 계층구조

2.2 셋업계획을 위한 지식

셋업계획의 절차는 각 형상특징별 데이터 체계 [9]의 결정, 셋업의 결정, 셋업순서의 결정 및 셋업내의 작업순서를 결정하는 순서로 진행되며, 각 단계별 내용과 전문가 지식의 의존도는 다음과 같다.

(1) 형상특징별 데이터 체계의 결정

하나의 셋업은 각 형상특징의 집합으로 나타나며, 그 셋업의 데이터 체계는 각 요소 형상특징의 데이터 체계를 먼저 결정하여야 한다. 형상특징별 데이터 체계의 결정에 필요한 정보는 형상특징의 명칭, 데이터의 수, 형상특징의 구성요소의 수 및 공차명 등이며, 결정에 필요한 지식은 공작물 관리

상의 치수관리, 형상관리, 기계적관리의 기법[10]과 사용치구의 상태 및 형상공차의 해석과 적용에 대한 것으로 많은 전문가 지식이 필요한 분야이다. 따라서, 형상특징별 데이터 체계의 결정은 지식베이스를 이용하는 것이 유리하다.

(2) 셋업의 결정

셋업의 결정은 각 형상특징의 데이터 체계가 동일한 것을 하나의 그룹으로 집합시키는 행위이며, 양산 방식과 배치생산 방식과 같은 생산모드에 따라 어느 정도까지 데이터 체계의 동일성을 인정하느냐 하는 전문가적인 지식을 제외하고는 각 형상특징의 합병방법에 대한 것으로 절차적 문제해결이 많이 요청되는 분야이다. 따라서, 셋업결정은 알고리즘을 통한 문제해결이 유리하다.

(3) 셋업의 순서와 셋업내의 작업순서의 결정

셋업의 순서결정과 셋업내의 작업순서의 결정은 거의 유사한 행위이며, 이 과정에 동원되어야 할 지식은 공작물의 형상관리, 형상특징의 층에 관한 전후 가공관계, 형상특징별 우선가공의 선정관계, 형상특징의 위치에 대한 우선가공 관계 등의 전문가 지식이 많이 요청되는 분야이다. 따라서, 셋업 및 셋업내의 작업순서의 결정은 지식베이스를 이용하는 것이 유리하다.

이상의 분석에서 볼 때 셋업계획의 (1), (3)단계는 지식베이스를 통해 결정하고, (2)단계는 알고리즘을 통해 결정하는 혼합방식인 멘덤형 시스템을 구축하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

2.3 셋업계획용 전문가 시스템

부품의 형상가공을 위한 셋업계획을 결정하기 위해서는 가공면의 집합으로서 부품의 형상이 우선 인식되어야 하며, 이러한 형상 데이터 외에 제품형상으로 부터의 가공 특징면의 추출, 소재형상의 고정방법, 치공구의 선택 및 가공조건 등의 비형상 데이터의 대부분은 작업자의 경험과 숙련에 의해 축적된 것이다. 셋업계획을 포함하는 공정계획의 작업은 최초의 상태에서 목적의 상태로 향하는 길을 찾는 방법으로 형식화 된다. 그러나, 이러한 문제는 런던한 탐색으로서 풀기에는 너무나 복잡하다. 숙련된 현장 작업자는 이와 같은 가공공정에 일어나는 다양하고 복잡한 문제를 경험지식에 기본을 둔 규칙성에 관한 지식을 사용하여 해의 탐색을 한정시켜서 용이하게 해결하는 수법을 익히고 있다. 이와 같은 지적작업은 광범위한 많은 지식을 필요로 하며, 구체적인 수학적 정리나 형식에 따르지 않는 경험칙을 사용하여, 공정설계 문제 전체를 취급하기 용이한 부분문제로 분해하거나 이미 해결된 문제와의 유사성에 맞추어 추론함으로써 해결하고 있다. 즉 기계가공을 위한 셋업계획에서 비형상

데이터의 결정문제는 대부분이 불확실하며, 불완전한 지식을 포함하고 있어 엄밀한 논리형식의 지식으로는 표현하기 곤란하다[5]. 따라서, 기계가공에 대한 공작물의 셋업계획은 전문가의 경험칙을 지식 베이스로 사용하는 전문가 시스템(expert system)을 이용하는 것이 유리함을 알 수 있다.

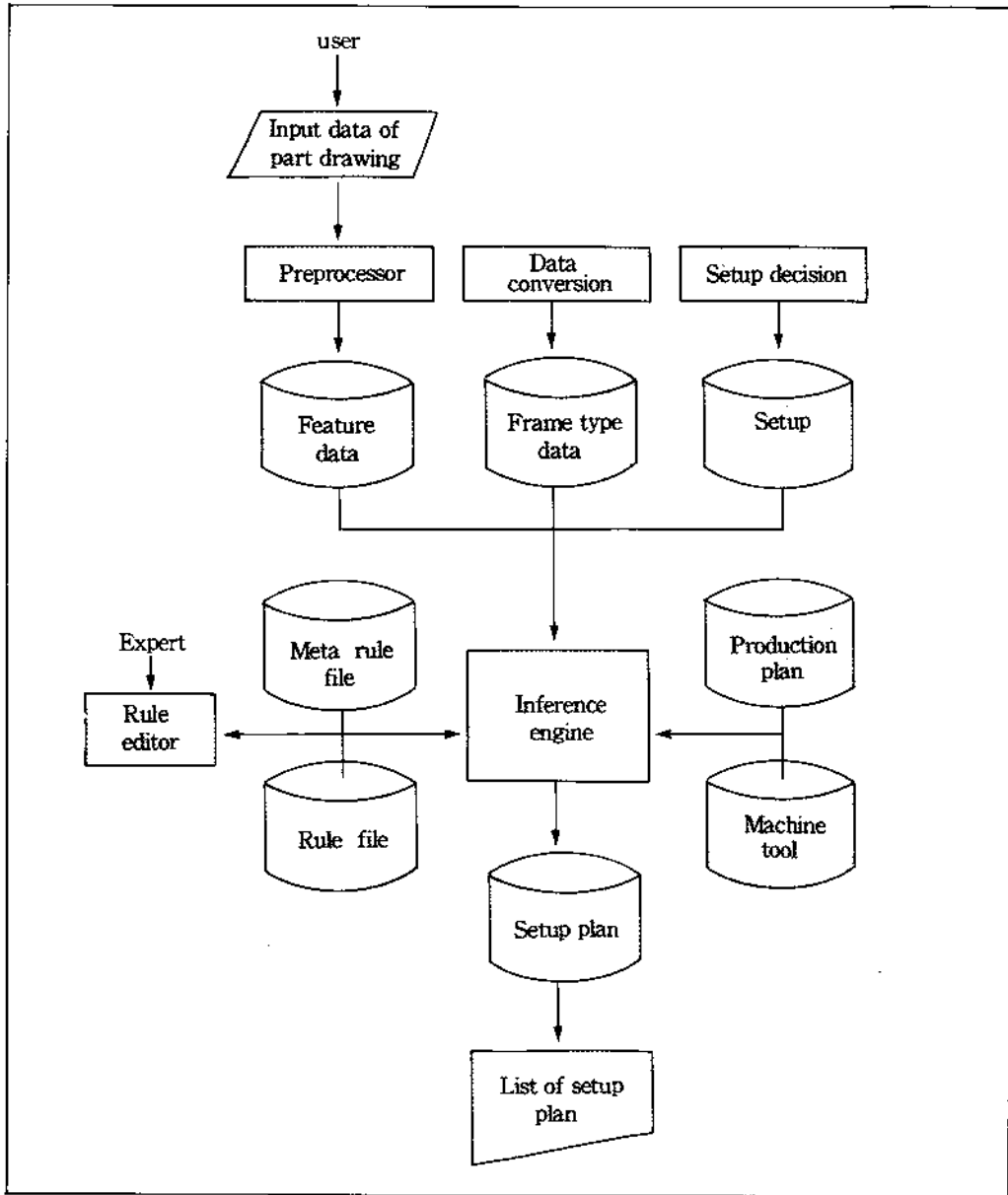
3. 셋업계획용 전문가 시스템의 구조와 처리절차

3.1 시스템의 구성

본 연구에서 개발한 프로토타입의 공작물 셋업계획 시스템을 SPES(Setup Planning system using Expert System approach)라 부른다. [그림2]는 SPES의 구성내용과 생성되는 화일을 나타낸 것이다. SPES는 필요 기능을 모듈별로 제공해 주는 외부 프로그램부와 추론기관을 이용한 지식처리를 하여 셋업계획을 생성시키는 주처리부로 구성되어 있다.

외부 프로그램부는 최초의 도면정보를 정리하여 후래임형 데이터를 생성시키는 선행처리 프로그램과 셋업을 결정하는 셋업결정 프로그램으로 구성되어 있으며, C언어로 코팅되어 있다.

주처리부인 전문가 시스템은 각 형상특징별 데이터 체계를 결정하는 규칙과 외부 프로그램에서 결정된 셋업의 순서와 셋업내의 작업순서를 결정하는 규칙을 모듈로 갖고 있는 규칙화일과 이들 규칙과 외부 프로그램을 제어하는 메타규칙 화일로 구성되어 있다. 이들 규칙화일 들이 추론기관에 의해 추론되어 형상특징별 데이터 체계, 셋업의 순서 및 셋업내의 작업순서가 그 결과로서 출력된다. 시스템 구축용 투울은 엑스퍼트 시스템 개발용 셸 EXSYS Pro이며, 엑스퍼트 시스템이 동작하는 컴퓨터는 IBM-AT급 이상으로 하였다.



[그림 2] SPES의 구조

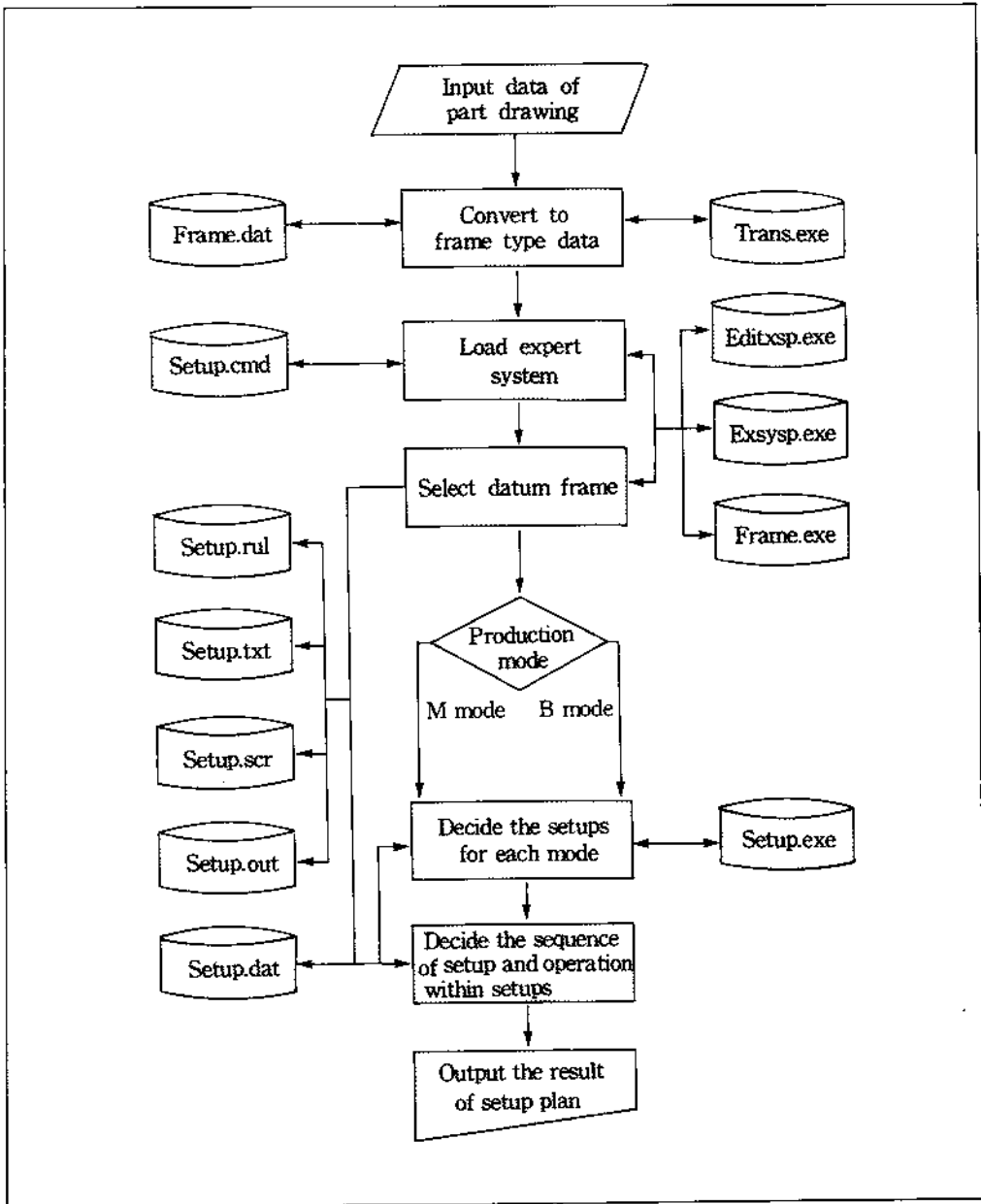
3.2 시스템의 처리절차

SPES는 다음과 같은 5단계의 처리절차를 거쳐 수행되며, [그림 3]은 각 단계별 수행절차와 관련된 되는 화일을 함께 나타낸 것이다. 각 단계별 처리

내용은 다음과 같다.

(1) 후래임형 데이터로의 변환 단계

이 단계는 사용자가 대상 공작물에 대한 형상특징 정보를 대화식 질문에 따라 입력하면 Trans.exe 화일에 있는 실행 프로그램에 의해 형상특징



[그림 3] SPES의 처리절차

데이터를 후레임형 데이터파일로 변환시키는 단계이다. 후레임형 데이터는 (3)단계의 입력 데이터로 사용되며, Frame.dat 파일에 저장된다. 이 단계는 (2)단계에서 필요시 마다 호출하면 수행되는 외부 프로그램의 실행단계이다.

(2) 전문가 시스템의 부팅

이 단계는 시스템의 사용을 위해 개발된 전문가 시스템을 작업 기억공간 (workong memory)에 부팅시키는 단계로서, 사용자에게 사용환경을 제공하는 단계이다. 이 때 모든 시스템의 제어는 Setup.

cmd 파일의 내용에 따라 수행된다. Editxsp.exe 파일은 새로운 규칙의 입력이나 사용중인 규칙의 수정에 사용되며, Exsysp.exe 파일은 각 규칙의 추론을 실행시키는 데 사용되며, Frame.exe 파일은 후레임형 데이터를 조작하는 데 사용된다.

(3) 각 형상특징별 데이텀 체계의 결정 단계

이 단계는 (1)단계에서 생성된 후레임형 데이터를 입력 데이터로 하여, 구축된 규칙에 의해 각 형상특징에 대한 데이텀 체계를 결정하는 단계이다. 여기서 결정된 데이텀 체계는 셋업의 결정과 셋업의 순서 결정에 사용된다. 이 단계에 관련되는 파일은 규칙 들을 저장하고 있는 Setup.rui 파일, 시스템의 진행에 도움되는 설명문을 저장하고 있는 Setup.txt파일, 시스템의 수행중 사용자에게 필요 정보를 컴퓨터 화면에 나타내는 Setup.scr파일, 규칙의 추론결과를 나타내는 Setup.out파일, 규칙에 필요한 데이터를 저장하고 있는 Setup.dat파일 등이다

(4) 생산 모드별 셋업의 결정 단계

이 단계는 양산 방식 또는 배치생산 방식을 구분하는 생산모드의 선택에 따라 각 모드별 셋업을 결정하는 단계로서 Setup.exe라는 외부 프로그램에 의해 실행되며, 그 결과는 Setup.dat라는 데이터 파일에 저장된다. 이 때 사용되는 데이터는 (3)단계에서 결정된 형상특징별 각 데이텀에 대한 허용정렬오차(Admissible Misalignment Value; AMV)와 치수관계도(Degree of Dimensional Relationship; DDR)[8]가 계산에 의해 새로이 생성된 것과 (1)단계에서 사용자가 입력한 그대로의 데이터 들이다. Setup.dat는 후레임형 데이터 형식으로 구성되며, 다음 단계의 입력 데이터로 사용된다.

(5) 셋업의 순서와 셋업내의 작업순서 결정 단계

이 단계는 전 단계에서 결정된 셋업간의 순서와 셋업내에 포함된 각 형상특징의 작업순서를 구축된

규칙의 추론에 의해 결정하는 단계로서, 시스템의 마지막 처리 단계이다. 이 단계에 관련있는 파일은 (3)단계와 같은 형식의 것이다.

4. 셋업계획용 전문가시스템의 실행 예

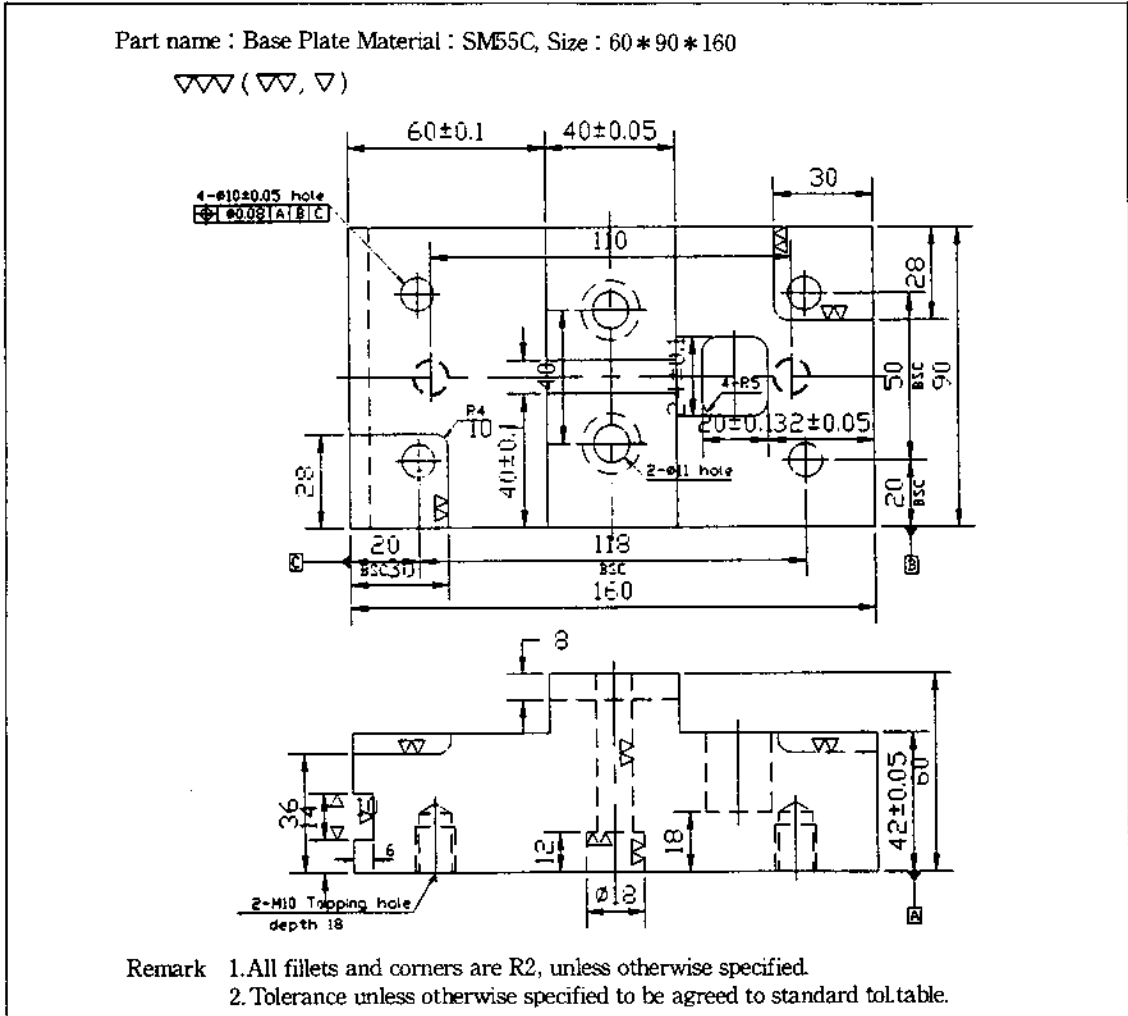
4.1 대상 공작물의 표현

본 연구에서 개발한 SPES 시스템을 평가하기 위해서 [그림 4]의 베이스 플레이트를 대상 도면으로 선택하였다. 베이스 플레이트는 공작물 상면에는 관통구멍 6개, 관통 스텝 2개, 관통 스롯 1개, 막힌 스텝 2개, 막힌 포켓 1개와 같은 12개의 형상특징이 존재하고, 공작물 좌측면에는 관통 스롯 1개의 형상특징이 존재하고, 공작물 하면에는 막힌 탭구멍 2개, 막힌 구멍 2개와 같은 4개의 형상특징이 있어 공작물 전체에 총 17개의 형상특징이 있다. 이들 각각의 형상특징에 대해서 사용자가 형상특징의 정보[8]를 대화식 질문에 따라 입력하면 [그림 5]와 같은 형상특징에 대한 직접적인 데이터화일이 생성되며, 이것을 기초로하여 데이텀체계를 결정할 때 사용할 후레임형 데이터가 [그림 6]과 같이 생성된다.

[그림 6]에 반영된 형상특징의 수는 전부 11개로 감소되었는데, 이것은 2개의 페밀리 형(family type)의 형상특징이 그것의 대표 형상특징으로 표현되었기 때문이다.

4.2 단계별 실행 예

SPES의 주처리부 중에서 가장 먼저 처리되는 것은 각 형상특징별 데이텀체계를 결정하는 전문가시스템의 규칙의 추론이다. [그림 7]은 데이텀체계를 결정하는 규칙을 의사결정 목의 형식으로 나타낸 것이며, 이것을 EXSYS Pro에서 제공하는



[그림 4] 부품도 베이스 플레이트

규칙 기술용 언어로 코딩한 규칙의 일부가 [그림 8]과 같다. [그림 9]는 [그림 8]의 전체 규칙의 추론에 의해 결정된 각 형상특징별 데이터 체계를 나타낸 것이다. [그림 9]에서 FST는 제1 위치결정면, SND는 제2 위치결정면, TRD는 제3 위치결정면을 각각 나타내며, 데이터 중에서 *표가 붙은 것은 그것의 중심선에 대한 대칭면 즉 대등면이 존재함을 의미한다. [그림 10]은 배치생산의 경우 베이스 플레이트에 대한 셋업을 외부 프로그램에 의해 출력한 리스트로서 셋업의 순서와 셋업내의 순서는 이 상태에서는 결정되지 않는다. [그림

11]은 셋업순서와 셋업내의 작업순서를 결정하는데 [그림 10]과 함께 사용할 후레임형 데이터를 나타낸 것이며, 이러한 입력 데이터에 의해 결정된 셋업의 순서와 셋업내의 작업순서는 [그림 12]와 같다. [그림 13]은 SPES의 최종 출력으로 각 생산모드별로 셋업의 순서, 셋업내의 작업순서, 셋업별 주 형상특징(critical feature) 및 셋업별 데이터 체계가 나타나 있다. 여기서, 주 형상특징이란 셋업 중에서 허용정렬오차의 값이 최소인 형상특징을 의미한다.

PART FEATURES															
Part name : Base plate				Drawing No : 92-10003											
Material : S45C				Blank Size : 160.000, 90.000, -60.000											

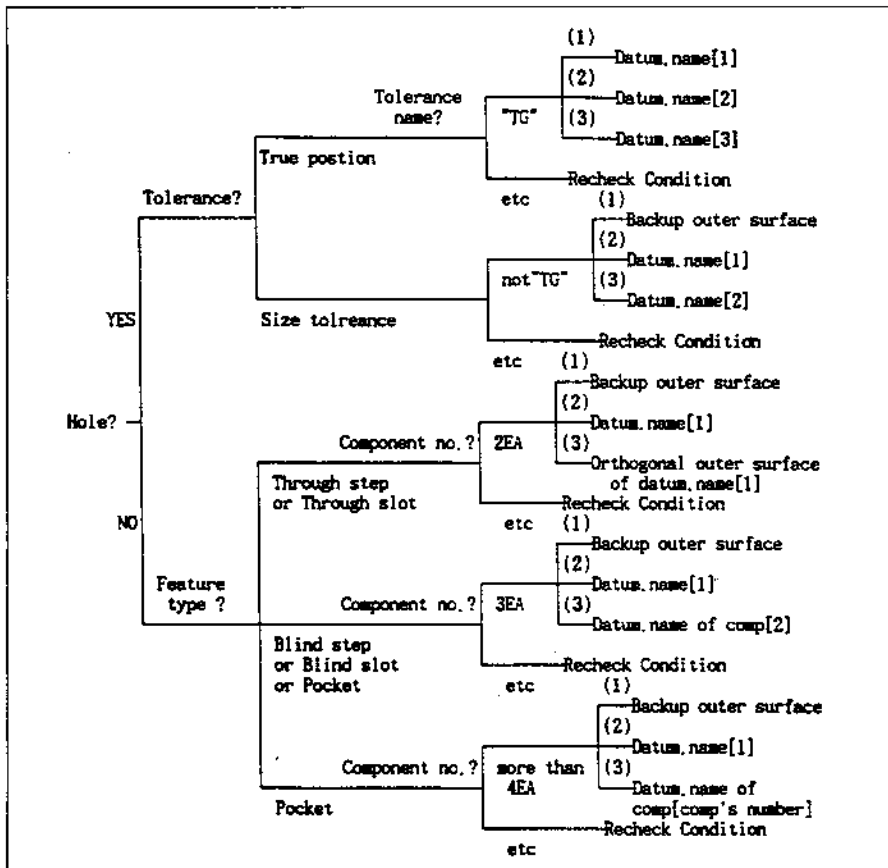
Feature No	name	la- yer	ori- ent	ori- gin	Base Size	Row gh	Com -no	Name	ori- ent	size	dta -no	Datum			
												Name	tol- nance	rel- dim	tol- nance
1	HLT11	XX2	+Z	20.0	10.0	6	1	HLT11	+Z	0.0	3	F5	TG	36.00	0.08
				20.0						F4		TU	20.00	0.08	
				-24.0						F1		TG	20.00	0.08	
2	HLT12	XX1	+Z	20.0	10.0	6	1	HLT12	+Z	0.0	3	F5	TG	42.00	0.08
				70.0						F4		TG	70.00	0.08	
				-18.0						F1		TG	20.00	0.08	
3	HLT13	XX4	+Z	138.0	10.0	6	1	HLT13	+Z	0.0	3	F5	TG	42.00	0.08
				20.0						F4		TG	20.00	0.08	
				-18.0						F1		TG	138.00	0.08	
4	HLT14	XX2	+Z	138.0	10.0	6	1	HLT14	+Z	0.0	3	F5	TG	30.00	0.08
				70.0						F4		TG	138.00	0.08	
				-24.0						F1		TG	70.00	0.08	
5	STB1	001	+Z	30.0	30.0	9	2	STB11	-Y	30.0	2	F4	TA	28.00	0.40
				28.0						F5		TA	36.00	0.60	
				-24.0											
								STB12	-X	0.0	1	F1	TA	30.00	0.60
8	STT1	000	+Z	60.0	60.0	6	1	STT11	-X	0.0	2	F1	TA	60.00	0.20
				0.0						F5		TA	42.00	0.10	
				0.0											
7	SLT1	9X0	+Z	100.0	40.0	6	2	SLT11	+Y	-10.0	2	F1	TA	40.00	0.20
				40.0						F5		TA	52.00	0.60	
				0.0											
								SLT12	-Y	40.0	1	SLT11	TA	10.00	0.10
8	HLT21	XX0	+Z	80.0	11.0	9	1	HLT21	+Z	0.0	2	F4*	TA	45.00	0.50
				25.0						F1*		TA	80.00	0.60	
				0.0											
9	HLT22	XX0	+Z	80.0	11.0	9	1	HLT22	+Z	0.0	2	F4*	TA	65.00	0.90
				65.0						F3*		TA	80.00	0.60	
				0.0											
10	STT2	000	+Z	100.0	60.0	6	1	STT21	+X	0.0	2	STT11	TA	40.00	0.10
				0.0						F5		TA	42.00	0.10	
				0.0											
11	PKB1	XX1	+Z	128.0	20.0	9	4	PKB11	-X	0.0	2	F3	TA	32.00	0.10
				33.0						F5		TA	18.00	0.40	
				-18.0											
								PKB12	+Y	-20.0	1	F4*	TA	33.00	0.60
								PKB13	+X	0.0	1	PKB11	TA	20.00	0.20
								PKB14	-Y	20.0	1	F4*	TA	24.00	0.20
12	STB2	001	+Z	130.0	30.0	9	2	STB21	+Y	-30.0	2	F2	TA	28.00	0.10
				62.0						F5		TA	36.00	0.60	
				-18.0											
								STB22	+X	0.0	1	F3	TA	30.00	0.60
13	SLT2	00X	-X	0.0	00.0	11	2	SLT21	+Z	0.0	2	F5	TA	10.00	0.10
				0.0						F1		TA	8.00	0.20	
				-50.0											
								SLT22	-Z	-6.0	1	SLT11	TA	14.00	0.10
14	TAB1	XX0	-Z	25.0	10.0	11	1	TAB11	-Z	0.0	2	F4*	TA	45.00	0.70
				45.0						F1*		TA	25.00	0.10	
				-60.0											
15	TAB12	XX0	-Z	135.0	10.0	11	1	TAB12	-Z	0.0	2	F4*	TA	45.00	0.60
				15.0						F1*		TA	135.00	1.00	
				-60.0											
16	HLB21	XX0	-Z	80.0	10.0	9	1	HLB21	-Z	0.0	2	F4*	TA	45.00	0.60
				45.0						F1*		TA	80.00	0.50	
				-60.0											
17	HLB22	XX0	-Z	80.0	10.0	9	1	HLB22	-Z	0.0	2	F4*	TA	85.00	0.60
				85.0						F1*		TA	80.00	0.60	
				-60.0											

[그림 5] 베이스 플레이트의 형상특징 데이터 리스트

Drawing No:92-10003
Part name: Base plate

Feature		Component										Datumframe			Temp
NO	Name	Ori	No	First			Second		Third		Fourth		FST	SND	TRD
				Tol	DI	D2	D3	Tol	DI	Tol	DI	Tol			
1	HLT1	+Z	1	TG	F5	F4	F1								
2	STB1	+Z	2	TA	F4	F5		TA	F1						
3	STT1	+Z	1	TA	F1	F5									
4	SLT1	+Z	2	TA	F4	F5		TA	SLT11						
5	HLT2	+Z	1	TA	F4*	F1*									
6	STT2	+Z	1	TA	STT11	F5									
7	PKB1	+Z	4	TA	F3	F5		TA	F4*	TA	PKB11	TA	F4*		
8	STB2	-X	2	TA	F2	F5		TA	F3						
9	SLT2	-Z	2	TA	F5	F1		TA	SLT11						
10	TAB1	-Z	1	TA	F4*	F1*									
11	HLB2	-Z	1	TA	F4*	F1*									

[그림 6] 베이스 플레이트의 후레임형 데이터 리스트



[그림 7] 데이텀 체계의 결정을 위한 의사결정 목(decision tree)

```

/* RULE NUMBER: 1
IF:
    Part feature is a {HLT} OR {HLB} OR {TAT} OR {TAB}
and:
    [COMPONENT FIRST TOL]="TG"
THEN:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.FST$=-$COMPONENT.FIRST.D1$)
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.SND$=-$COMPONENT.FIRST.D2$)
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.TRD$=-$COMPONENT.FIRST.D3$)

/* RULE NUMBER: 2
IF:
    Part feature is a {HLT} OR {HLB} OR {TAT} OR {TAB}
and:
    [COMPONENT FIRST TOL]="TA"
and:
    [FEATURE ORI]="+Z"
THEN:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.FST$="F5")
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.SND$=-$COMPONENT.FIRST.D1$)
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.TRD$=-$COMPONENT.FIRST.D2$)

/* RULE NUMBER: 3
IF:
    Part feature is a {HLT} OR {HLB} OR {TAT} OR {TAB}
and:
    [COMPONENT FIRST TOL]="TA"
and:
    [FEATURE ORI]="-Z"
THEN:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.FST$="F6")
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.SND$=-$COMPONENT.FIRST.D1$)
and:
    T> FRAME("A:PART.DAT",#NO#=[1], $DATUMFRAME.TRD$=-$COMPONENT.FIRST.D2$)
    
```

[그림 8] 데이터 체계의 결정을 위한 규칙 예

Drawing No:92-10003

Part name: Base plate

Feature		Component										Datumframe			Temp	
NO	Name	Ori	No	First			Second		Third		Fourth		FST	SND	TRD	
				Tol	D1	D2	D3	Tol	D1	Tol	D1	Tol				
1	HLT1	+Z	1	TG	F5	F4	F1						F5	F4	F1	
2	STB1	+Z	2	TA	F4	F5		TA	F1				F5	F4	F1	
3	SIT1	+Z	1	TA	F1	F5							F5	F1	F4	
4	SLT1	+Z	2	TA	F4	F5		TA	SLT11				F5	F4	F1	
5	HLT2	+Z	1	TA	F4*	F1*							F5	F4*	F1*	
6	SIT2	+Z	1	TA	SIT11	F5							F5	SIT11	F4*	
7	PKB1	+Z	4	TA	F3	F5		TA	F4*	TA	PKB11	TA	F4*	F5	F3	F4*
8	STB2	-X	2	TA	F2	F5		TA	F3				F5	F2	F3	
9	SLT2	-Z	2	TA	F5	F1		TA	SLT11				F3	F5	F4*	
10	TAB1	-Z	1	TA	F4*	F1*							F6	F4*	F1*	
11	HLB2	-Z	1	TA	F4*	F1*							F6	F4*	F1*	

[그림 9] 베이스 플레이트에 대한 데이터 체계의 출력

Drawing No:92-10003

Part name: Base plate Mode: B

T-setup							O-Setup										
No	Features						C-Feature			No	Features						
	A	B	C	D	E	F	Name	D1	D2	D3		A	B	C	D	E	F
1	HLT1	STB1	STT1	SLT1	HLT2	PKB1	HLT1	F5	F4	F1							
2		STB2					STB2	F5	F2	F3							
3			STT2				STT2	F5	STT11	F4*							
4				SLT2			SLT2	F3	F5	F4*							
5	TAB1	HLB2					TAB1	F6	F4*	F1*							

~INHERIT FROM C:\setup\sequence.dat

[그림 10] 배치 생산의 경우 베이스 플레이트에 대한 셋업의 결정 결과

Drawing No:92-10003

Part name:Base plate

Feature							Datum frame			AMV		DDR			R&K	
No	Name	ori	layer	origin			Rou	F-no	FST	SND	TRD	FST	SND	FST	SND	TRD
			X Y Z	X	Y	Z										
1	HLT1	+Z	X X 2	20.0	20.0	-24.0	6	4	F5	F4	F1	1.11	0.28	1	1	1
2	STB1	+Z	0 0 1	30.0	28.0	-24.0	9	1	F5	F4	F1	14.62	1.48	1	1	1
3	STT1	+Z	0 0 0	60.0	0.0	0.0	6	1	F5	F1	F4	0.93	0.93	1	1	1
4	SLT1	+Z	X X 0	100.0	40.0	0.0	6	1	F5	F4	F1	11.56	0.89	1	1	1
5	HLT2	+Z	X X 0	80.0	25.0	0.0	9	2	F5	F4*	F1*	6.21	2.91	1	1	1
6	STT2	+Z	0 0 0	100.0	0.0	0.0	6	1	F5	STT11	F4*	0.93	0.46	1	2	1
7	PKB1	+Z	X X 1	128.0	33.0	-18.0	9	1	F5	F3	F4*	2.07	0.38	1	1	1
8	STB2	+Z	0 0 1	130.0	62.0	-18.0	9	1	F5	F2	F3	14.62	1.38	1	1	1
9	SLT2	-X	0 0 X	0.0	0.0	-50.0	11	1	F3	F5	F4*	2.20	2.21	1	1	1
10	TAB1	-Z	X X 0	25.0	45.0	-60.0	11	2	F6	F4*	F1*	15.69	2.11	1	1	1
11	HLB2	-Z	X X 0	80.0	45.0	-60.0	9	1	F6	F4*	F1*	22.98	3.27	1	1	1

[그림 11] 셋업의 순서 결정을 위한 후레임형 데이터

Drawing No: 92-10003

Part name: Base plate Mode: B

T-setup										O-Setup							
No	Features						C-Feature				No	Features					
	A	B	C	D	E	F	Name	D1	D2	D3		A	B	C	D	E	F
1	HLT1	STB1	STT1	SLT1	HLT2	PKB1	HLT1	F5	F4	F1	1	HLT1	HLT2	STT1	SLT1	STB1	PKB1
2	STB2						STB2	F5	F2	F3	3	STB2					
3	STT2						STT2	F5	STT11	F4*	2	STT2					
4	SLT2						SLT2	F3	F5	F4*	5	SLT2					
5	TAB1	HLB2					TAB1	F6	F4*	F1*	4	HLB2	TAB1				

~INHERIT FROM C:\setup\sequence.dat

[그림 12] 배치 생산의 경우 셋업 및 셋업내의 순서 결정

4.3 적용사례에 대한 고찰

SPES의 실행결과에 대한 출력 리스트에는 셋업의 순서와 셋업내의 작업 순서가 정리되어 있으며, 셋업내의 작업 순서는 좌측의 것이 순서가 빠름을 의미하며, 각 셋업 중에는 주 형상특징과 셋업별 데이터 체계가 나타나 있다. 셋업별 데이터 체계 중에서 *표시가 붙은 것은 그 대등면을 괄호안에 표시하여 둠으로서, 치구 설계자와 현장 작업자에게 참조토록 하기 위함이다.

출력결과에 대한 타당성 조사를 위해서 기계공장의 전문 공정계획자에게 사례의 도면을 제시하여 그들의 셋업계획을 작성케하여 SPES의 출력과 비교 검토한 결과 거의 일치된 결과를 나타내었으나, 구멍가공에 대한 작업순서에 일부 다른 해가 나타났다. 이것은 구축된 구멍가공용 규칙이 제한된 것에서 오는 결과이다. 또한 생산모드의 정의에 대해서 보완의 필요성이 제기되었다. 생산모드의 정확

한 지정은 생산계획의 결과를 전제로 하며, 생산계획은 생산 시스템내의 가용설비와 설비별 부하를 파악한 상태에서 수립되므로 실용적인 해를 구하기 위해서는 정확한 생산 시스템의 모델화가 필요하다. 즉, 셋업계획의 실체는 합리적인 생산계획이 전개될 때 그 기능이 충분히 발휘된다고 사료된다.

한편, SPEC 시스템은 셋업의 결정은 외부 프로그램에 의존하고, 형상특징의 데이터 체계의 결정과 셋업의 순서의 결정은 지식베이스에 의존한 템플릿형 전문가 시스템으로 구축되어 있다. 이는 전문가 시스템용 셸이나 언어는 반드시 어느 하나의 언어로는 한계가 있기 때문에 일어나는 현상이다 [11]. 따라서, 전문가 시스템의 개발을 위해서는 대상을 확실히 분석하여 그것에 적합한 프로그램 언어와 개발용 셸을 효율적으로 사용하는 것이 개발과정에서 대단히 중요하다고 사료된다.

Setup List

Production Mode: B		Drawing No.: 92-10003			
		Part name : Base plate			
Order	Operation order in setups	C-feature	Datum1	Datum2	Datum3 Remark
1	{HLT1, HLT2, STT1, SLT1, STB1, PKB1}	HLT1	F5	F4	F1
2	{STT2}	STT2	F5	STT11	F4*(F2)
3	{STB2}	STB2	F5	F2	F3
4	{HLB2, TAB1}	HLB2	F6	F4*(F2)F1*(F3)	
5	{SLT2}	SLT2	F3	F5	F4*(F2)

Setup List

Production Mode: M		Drawing No.: 92-10003			
		Part name : Base plate			
Order	Operation order in setups	C-feature	Datum1	Datum2	Datum3 Remark
1	{STT1}	STT1	F5	F1	F4
2	{STT2}	STT2	F5	STT11	F4*(F2)
3	{HLT1, HLT2, SLT1, STB1}	HLT1	F5	F4	F1
4	{STB2}	STB2	F5	F2	F3
5	{PKB1}	PKB1	F5	F3	F4*(F2)
6	{HLB2, TAB1}	HLB2	F6	F4*(F2)F1*(F3)	
7	{SLT2}	SLT2	F3	F5	F4*(F2)

[그림 13] SPES의 최종 출력

5. 결 론

본 연구는 수직 밀링머신에서 가공될 수 있는 비회전 형상품을 대상으로 전문가 시스템 접근법을 이용한 프로토타입의 공작물 셋업계획 시스템의 개발에 관한 것으로서, 다음의 내용을 체계화하였다.

(1) 셋업계획을 위한 부품의 표현은 형상특징의

속성에 관한 일차 데이터와 형상특징의 각 데이터에 대한 허용정렬오차 및 치수관계도의 이차 데이터로 구성하였다.

(2) 셋업의 결정에 적용되는 알고리즘을 개발하였다.

(3) 각 형상특징별 데이터체계, 셋업의 순서 및 셋업내의 작업순서를 결정하는데 적용할 지식베이스

를 구축하였다.

본 연구에서 개발한 자동 셋업계획 시스템을 SPES라 명명하였으며, 이에 대한 소프트웨어는 C 언어를 사용한 외부 프로그램과 전문가 시스템 개발용 셸 EXSYS Pro로 구축한 추론기관으로 구성되며, 하드웨어는 IBM PC/AT급 이상의 WINDOW 사용환경에서 가능하다.

SPES에 실제 사례를 적용해 본 결과 산업체의 전문 공정계획자에 의한 셋업계획과 거의 일치된 결과를 보였으며, 실용성의 증대를 위해서는 가공

모드의 적용에 보완점이 지적되었다. 이것의 해결을 위해서는 생산계획 시스템과의 인터페이스에 관한 연구가 폭 넓게 수행되어야 할 것으로 사료된다.

SPES는 그동안 현장 작업자에 의존하고 있던 공작물 셋업계획을 전문가시스템으로 개발한 것으로서 작업자 개인차에 따라 상이한 가공결과를 보여온 단점을 개선하여, 가공작업에서의 작업성과 정밀도를 향상시키는 데 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 人見勝人 著, 曹圭甲 譯, 生産시스템工學, 喜重堂, 1986.
- [2] Boerma, J.R., The Design of Fixtures for Prismatic Parts, University of Twente, 1990.
- [3] Sakurai H., Automatic Setup Planning and Fixture Design for Machining, Journal of Manufacturing Systems. Vol. 11, No. 1, 1992.
- [4] Wright P.K. and Bourne D.A., Manufacturing Intelligence, Addison-Wesley, 1988, pp. 226-229
- [5] 齊藤 勝政, 穴加工の作業設計のためのエキスパートシステム, 機械と工具, 1988, 4月
- [6] Wright P.K., An Expert System for Setup Planning in Machining, ibid., 1988.
- [7] Darvishi A.R. and Gill K.F., Expert System Rules for Fixture Design, International Journal of Production Research, 28(10), pp. 1901-1920, 1990.
- [8] 조규갑, 정영득, 치구계획의 자동화시스템 구성 및 데이터체계의 결정, 산업공학, Vol. 4, No. 2, 1991.
- [9] Foster L.W., Geometric Dimensioning and Tolerancing, Addison-Wesley, pp. 3, 1971.
- [10] Eary, D.F. and Johnson, G. E., Process Engineering for Manufacturing, Prentice-Hall, Inc, 1962.
- [11] Badiru A. B., Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing, Prentice Hall, pp. 142-147, 1992.

저 자 소 개



저자 정영득은 현재 부산공업대학교 금형공학과에서 부교수로 재직중이다. 1967년 부산 대학교 기계공학과를 졸업하고 1992년 부산대에서 공학박사 학위를 취득하였다. ㈜금성사에서 치공구설계 및 금형제작, 산업용 로봇개발에 참여하였다. 주요관심분야는 공정설계의 자동화에 관한 것이다.