

## 치구계획의 자동화를 위한 작업준비계획

조 규갑\* · 정 영득\*\*

### Setup Planning for Computer Aided Fixture Planning System

Kyu Kab Cho\* and Yeong Deug Jeong\*

#### Abstract

This paper deals with the development of setup planning for Automated FIXture planning system(AFIX) which selects setups, setup sequence and operation sequence in each setup according to the machining mode. In AFIX, part type considered is prismatic workpiece that use the 3-2-1 locating system as the general structure of the fixture. The heuristic algorithms selecting setup and setup sequence are based on DDR(Degree of Dimensional Relationship), AMV(Admissible Misalignment Value) and machining strategy and feature attributes. A case example is given to illustrate the performance of AFIX.

## 1. 서 론

CAPP에 관한 연구는 상당히 많이 진행되고 있으나 치구계획에 관한 것은 일반적인 문제만을 다루고 있다. 한 조사보고에 따르면 개발된 CAPP시스템 중에서 33%만이 치구에 대한 것을 다루고 있으나 그것도 전부 치구의 선택에 대한 문제만을 다루고 있다[1].

치구계획은 공정계획중 미시적 의사결정을 하는 작업설계에 해당되는 분야로서 작업내용

의 그룹화, 작업그룹의 순서결정, 작업그룹별 데이텀체결정 및 치구설계를 포함하는 공정 계획의 핵심부이다[2, 3].

본 연구는 "치구계획의 자동화시스템 구성 및 데이텀체계의 결정"에 관한 연구 [4]의 계속으로 비회전 형상부품에 대해 작업준비, 작업준비의 데이텀체결, 작업준비의 순서, 작업준비내의 가공순서 등을 자동으로 결정하는 치구 계획 시스템을 개발하는 데 목적이 있다. 본 연구에서 개발한 자동치구계획 시스템을 AFIX

\* 부산대학교 산업공학과

\*\* 부산공업대학 금형공학과

(Automated FIXture planning system)라 부르며, 이는 C언어를 사용하여 SUN 워크스테이션에서 실행된다. 개발된 시스템의 평가를 위해 부품도면 캐비티 플레이트를 대상으로 사례연구를 하였다.

## 2. AFIX의 처리내용

AFIX는 (i)부품의 형상특징 모델링, (ii)치구데이터 화일로 데이터 변환처리, (iii)작업준비 계획의 결정, (iv)치구설계의 4단계의 처리절차를 갖는 자동 치구계획 시스템이다. 이 중에서 (i), (ii)단계는 치구계획의 자동화시스템 구성 및 데이텀체계의 결정에 관한 연구에서 다루었으며, (iii), (iv)단계는 본 논문에서 다룬 내용이다. 각 단계별 처리내용의 요약은 다음과 같다.

### (1) 부품의 형상특징 모델링 단계

대상부품에 대한 형상특징 모델링을 행하는 단계로서 치구계획을 위한 하나의 선행처리 단계이다. 형상특징 모델링이 완료되면 그 결과는 형상특징 화일에 저장되며, 이는 다음 단계인 치구데이터 화일을 생성시키기 위한 입력 화일이 된다[4].

### (2) 치구데이터 화일로 변환처리 단계

형상특징 화일은 해당 부품의 제조를 위한 일반적 데이터 화일에 해당 되므로 치구 계획용 데이터로 사용하기 위해서 각 형상특징에 대한 제1, 제2, 제3의 데이텀면, 각 형상특징의 데이텀면에 대한 허용정렬오차(Admissible Misalignment Value; AMV) 및 치수관계도(Degree of Dimensional Relationship; DDR), 동시 가공을 해야 할 형상특징의 수와 같은 데이터를 포함하는 치구데이터 화일로 변환처리 하는 단계이다[4].

### (3) 작업준비계획의 결정 단계

앞 단계에서 준비된 치구데이터 화일과 별도로 마련되는 공작기계 화일을 입력으로 하여 작업준비, 각 작업준비별 데이텀면, 작업준비의 순서, 각 작업준비, 내의 가공순서 등에 관한 세부결정을 수행하는 단계이다.

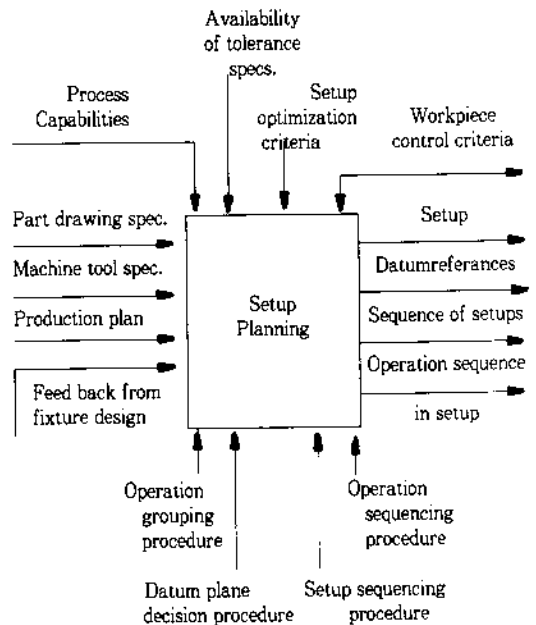
### (4) 치구설계 단계

앞 단계에서 구해진 각 작업준비별의 위치결정, 클램핑, 지지점을 결정하고 여기에 해당되는 치구요소를 정하여 배치하는 단계이다. 본 연구에서는 각 작업준비별의 위치결정, 클램핑, 지지점의 결정절차 개발만을 고려한다.

## 3. 작업준비계획

### 3.1. 작업준비계획의 기능

작업준비계획의 기능을 구조화분석 설계기법(Structured Analysis and Design Technique: SADT) [5,6]의 개념을 사용하면[그림1]과 같다.



[그림 1] 작업준비 계획의 기능

### 3.2. 작업준비계획의 입력정보

#### (1) 부품도면의 정보

작업준비계획의 입력으로 사용할 부품도 정보는 부품의 형상에 관한 것과 치수공차에 관한 것이 있다. 형상정보는 공작물의 블랭크 상태를 나타내는 주형상에 관한 것과 각 형상특징의 형상, 위상, 방향 및 형상특징에 관한 것과 구성면에 관한 것이 있다. 주형상 정보는 기본 좌표계에 공작물의 최초 방향설정이 이용된다. 각 형상특징의 형상 및 방향에 대한 정보는 공작기계의 주축방향과 테이블 이동방향과의 일치성을 점검하여 가공물의 방향결정에 이용되며, 형상특징의 위상에 관한 정보는 가공순서 결정에 이용되며, 형상특징의 구성면은 가공의 최소단위이므로 가공기계의 선정에 이용된다. 치수 및 공차에 관한 정보는 그 부품의 고정작업시 허용정렬오차와 위치결정면을 선정할 시 공차의 누적정도를 알 수 있는 중요한 정보로서, 이것은 AMV와 DDR이란 수치로써 작업준비계획에 입력된다.

#### (2) 공작기계의 정보

연구의 대상부품인 비회전 형상부품의 주 가공기계는 밀링머신이다. 밀링머신의 주축방향과 동시에 가공할 수 있는 가공면의 수는 작업준비계획의 주요정보이다. Boerma[7]는 밀링머신의 형태를 주축방향과 동시가공면의 수를 결정할 수 있는 수평 회전테이블, 수직 앵글플레이트, 수직 회전테이블, 수평 앵글플레이트의 구성내용에 따라 6가지로 분류하고 있다. 본 연구에서는 동시 가공면의 수가 1개인 수직 밀링머신을 대상으로 한다.

#### (3) 생산계획의 정보

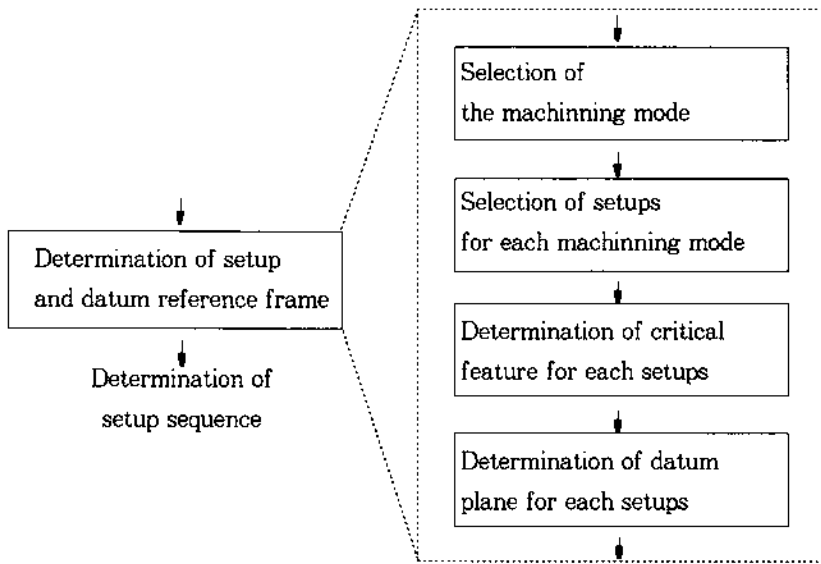
부품의 생산수량, 납기, 료트의 크기등 생산계획 정보는 치구의 투자비산정 등의 경제성 분석에 유용한 정보이며 기술적 고려에는 간접적이다. 그러나, 회사의 설비내용, 생산속도 및 품질정책에 따라 가공정책이 정해지며, 이는 작업준비계획의 전제조건이 된다. 여기서 가공정책을 양산모드와 뱃치모드로 구분하여 양산모드(Mass Production mode; M 모드)는 부품도의 치수관리에 중점을 두어 가능한 생산공정을 다단계로 분산시켜 각 공정별로 정밀가공을 행하는 가공방식을 말하며, 뱃치모드(Batch Production mode; B 모드)는 공정의 통합에 중점을 두어 가능한 적은 가공기계에서 많은 공정의 작업을 하여 작업준비의 수를 적게하는 가공방식을 말한다.

### 3.3. 작업준비계획의 처리내용

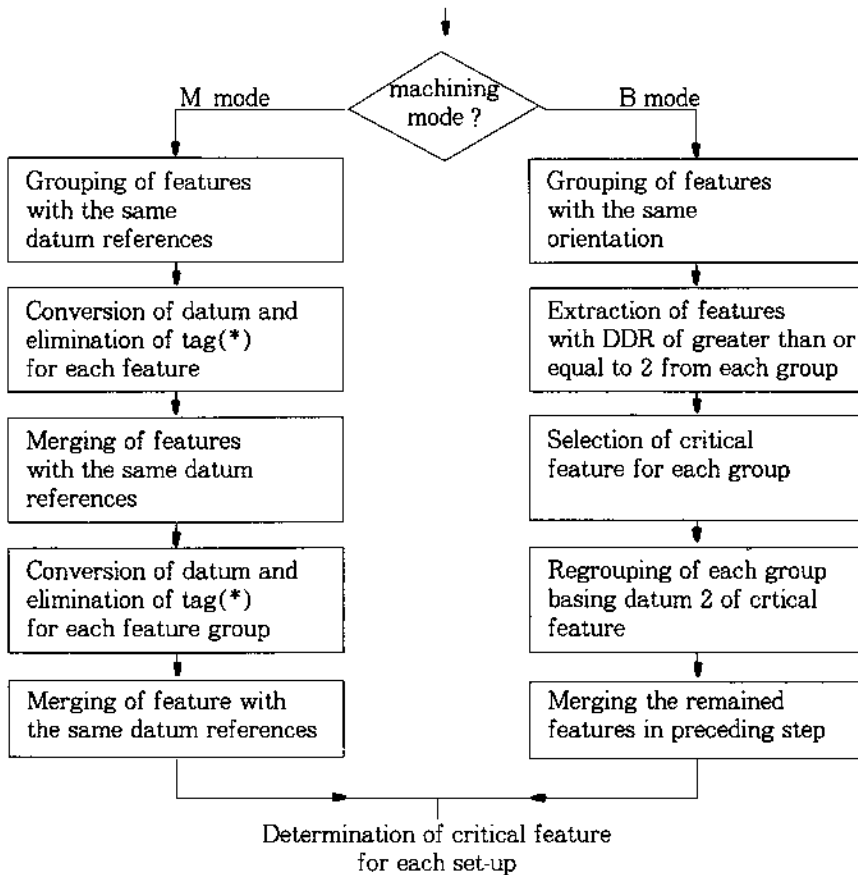
작업준비계획은 치구데이터 화일과 공작기계에 대한 데이터를 입력으로 하여 (i)작업준비, (ii)작업준비별 데이터체계, (iii)작업준비의 순서, (iv)작업준비내의 가공순서를 결정하는 활동으로 (i),(ii)와 (iii),(iv)는 각각 동시에 수행된다.

#### 3.3.1. 작업준비와 데이터체계의 결정

작업준비와 그 데이터체계(datum reference frame)[8,9]의 결정은 그림 2에 나타난 절차에 따라 결정된다. 즉, 적용할 가공모드를 지정하면 각 가공모드별 형상특징의 합병(merging) 방법에 따라 각각 다른 작업준비가 결정되고 결정된 작업준비별로 최소의 AMV의 값을 갖는 주형상특징(critical feature)을 선택하여 주형상특징이 갖는 데이터체계를 그 작업준비의 데이터체계로 정한다.



[그림 2] 작업준비와 데이텀체계의 결정절차



[그림 3] 가공모드별 작업준비의 결정절차

그림 3은 가공모드별 작업준비를 결정하는 세부절차를 나타낸다.

(1) M모드의 경우

단계 1 : 각 형상특징별로 데이텀체계가 동일한 것끼리를 그룹화 한다.

단계 2 : 단계 1의 그룹에 속하지 않는 단일 형상특징들을 대상으로 \*표시가 붙어 있는 데이텀면을 그것의 대등면으로 치환하고 \*표시를 없앤다.

단계 3 : 단계 1의 그룹화를 다시 수행한다. 이 때 그룹화의 대상은 이미 생성된 그룹과 단일 형상특징 모두이다.

단계 4 : 단계2의 절차를 \*표시를 포함하고 있는 그룹에 대해 수행한다.

단계 5 : 단계 1의 절차를 다시 수행한다.

이상의 절차는 제1 데이텀면이 동일하면서 제2 데이텀면이 서로 상이하면 별개의 작업준비로 분류되는 결과가 된다.

(2) B 모드의 경우

단계 1 : 각 형상특징의 방향이 동일한 것끼리를 그룹화한다.

단계 2 : 단계 1에서 생성된 그룹중에서 DDR

가 2이상의 형상특징을 그룹에서 추출해 낸다.

단계 3 : 단계 2를 거친 그룹에서 주형상특징을 선정한다.

단계 4 : 각 그룹별로 주형상특징의 제2의 데이텀면을 갖는 형상특징들의 그룹과 그것의 대등면을 제2의 데이텀면으로 하는 그룹으로 분할한다.

단계 5 : 단계 4에서 어느 그룹에도 포함되지 않는 형상특징들의 제3의 데이텀을 조사하여 그것이 단계 4에서 생성된 2개 그룹의 제2의 데이텀의 각각에 동일한 어느 한 그룹에 머징시킨다. 이때 독립된 각 형상특징은 반드시 어느 한 그룹에 머징된다.

이상의 절차는 제1의 데이텀면이 동일하면서 제2의 데이텀면이 상호 대향관계에 있는 것은 별도의 작업준비로 분리되는 결과가 된다. 예를 들면 표 1의 치구데이터를 갖는 10개의 형상특징에 대한 작업준비의 결정과정은 M모드에 대해서는 그림 4, B모드에 대해서는 그림 5]와 같이 된다.

<표 1> 치구데이터의 리스트 예

No.	Feature name	Orientation	Datum references	AMV(x10 <sup>-3</sup> )	DDR
1	A	+Z	F5	1.40	1
			F2	0.25	1
			F1*	---	1
2	B	+Z	F5	1.04	1
			F4	0.80	1
			F1*	---	1
3	C	+Z	F5	0.42	1
			F4*	2.20	1
			F1*	---	1
4	D	+Z	F5	6.20	1
			F1	2.25	1
			F4*	---	1
5	E	+Z	F5	2.78	1
			SLB2	0.87	3
			F2	---	1

6	F	-Z	F5	1.00	1
			F2	0.85	1
			F3	---	1
7	G	+Z	F5	5.88	1
			F3	2.20	1
			F2	---	1
8	H	Y	F2	1.99	1
			F5	1.10	1
			F1	---	1
9	I	-Y	F2	0.85	1
			F1	0.54	1
			F5	---	1
10	J	+X	F1	2.40	1
			F5	1.05	1
			F4	---	1

Decision step	Feature and Setup group
(1)	{B, D}
(2)	{A}, {C} (F5, F2, F3), (F5, F2, F3)
(3)	{A, C, F}, {B, D}, {E}, {G}, {H}, {I}, {J}
(4)	{B, D} (F5, F1, F2)
(5)	{A, C, F}, {B, D}, {E}, {G}, {H}, {I}, {J}
(6)	{A, C, F}, {B, D}, {E}, {G}, {H}, {I}, {J} <A> <B> <E> <G> <H> <I> <J>

(Remark) { } : Setup group, ( ) : Datum reference, < > : Critical feature

[그림 4] M모드에서의 작업준비 결정과정

Decision step	Feature and Setup group
(1)	{A, B, D, E, F, G}, {H, I}, {J}
(2)	{A, B, C, D, F, G}, {E}, {H, I}, {J}
(3)	{A, B, C, D, F, G}, {E}, {H, I}, {J} <A> <E> <I> <J>
(4)	{A,C,F}, {B}, {D}, {G}, {H}, {I}, {E}, {J} (F5,F2,F3) (F5,F1,F4*) (F5,F1,F4*) (F5,F3,F2) (F2,F5,F1)(F2, F1, F5)
(5)	{A, C, F, G}, {B, D}, {E}, {H, I}, {J}
(6)	{A, C, F, G}, {B, D}, {E}, {H, I}, {J} <A> <B> <E> <I> <J>

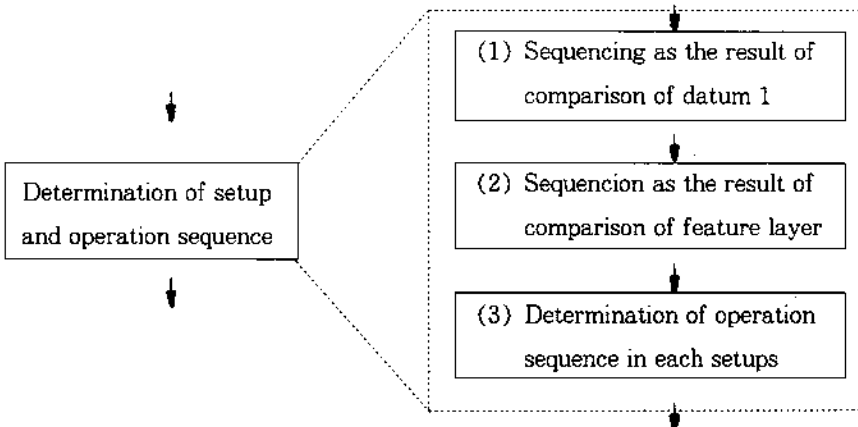
(Remark) { } : Setup group, ( ) : Datum reference, < > : Critical feature

[그림 5] B모드에서의 작업준비 결정과정

3.3.2. 작업준비의 순서 및 작업준비내의 가공 순서 결정

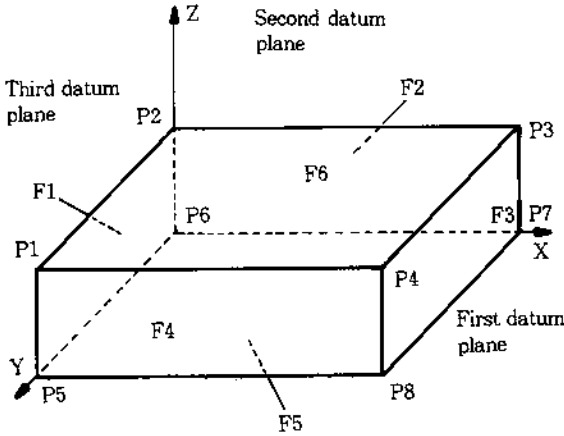
작업준비의 순서결정은 각 작업준비 단위별로 순서를 정하는 것과 각 작업준비내의 형상

특징의 가공순서를 결정하는 것으로 분해 할 수 있다.[그림6]은 작업준비내의 순서를 결정하는 절차를 나타낸 것이고, 각 절차별 내용은 다음과 같다.



[그림 6] 작업준비와 작업준비내의 가공순서 결정절차

(1) 제1 데이텀의 비교에 위한 순서결정은 공작물의 형상관리 측면에 기준을 두어[그림7]에 나타낸 직육면체의 경우에는 제1 데이텀이 F5 → F6 → F4 → F1 → F3인 순서로 결정된다.



[그림 7] 직육면체의 기본외형면

(2) 형상특징 층(layer)의 비교에 의한 순서결정은 다음 절차에 따른다.

단계 1 : 제1 데이텀의 법선방향과 반대되는 방향을 형상특징 층의 기준방향으로 정한다.

단계 2 : 각 작업준비별로 기준방향의 층의 값이 최대가 되는 형상특징을 찾고, 이런 형상특징을 각 작업준비의 최종형상특징(last feature)이라 부른다. 만약 작업준비내의 각 형상특징

의 층의 값이 동일할 경우는 기준 좌표축에서 가장 멀리 떨어져 있는 형상특징을 최종형상특징으로 한다.

단계 3 : 각 작업준비의 최종형상특징에 대한 층의 값을 비교하여 그 값이 작은 작업준비를 우선 순위로 정한다.

단계 4 : 단계 3까지도 순위가 같으면 형상특징수를 많이 갖는 작업준비를 우선 순위로 정한다.

(3) 각 작업준비내의 가공순서의 결정은 다음 절차에 따른다.

단계 1 : 작업준비내에 구멍형상특징이 있으면 그것의 가공순서를 가장 우선한다.

단계 2 : 작업준비내의 각 형상특징 별로 기준 방향에 대한 층의 값을 비교하여 그 값이 작은 것을 우선순위로 정한다.

단계 3 : 단계 1의 우선순위가 같을 경우는 층의 블록수가 적은 형상특징을 우선 순위로 정한다.

단계 4 : 단계 2까지도 순위가 같으면 형상특징의 첨자가 낮은 것을 우선순위로 정한다.

예를들어 작업준비결정에서 {A1}, {D1,C1}, {G2,F1}, {B1,H1}, {E2}, {I1}, {J1}와 같은 7개의 작업준비가 결정되었으며, 해당 형상특징에 대한 치구데이터가<표2>와 같이주어질 경우의 작업준비의 순서와 작업준비내의 가공순서의 결정과정은 그림8)과 같다.[그림8]에서 좌측에 있는 것일수록 순위가 빠른것을 의미한다.



〈표 2〉 치구데이터의 리스트 예

No	Feature name	Layer	Orientation	Origin
1	A1	XXO	+Z	200, 200, 0.0
2	B1	OXO	+Z	0.0, 600, 0.0
3	C1	OOO	+Z	40.0, 0.0, 0.0
4	D1	XO1	+Z	40.0, 0.0, -9.0
5	E2	XX2	+Z	56.0, 82.0, -22.0
6	F1	XX1	+Z	85.0, 27.0, -9.0
7	G2	XX2	+Z	110.0, 25.0, -39.0
8	H1	OX1	+Z	100.0, 40.0, -9.0
9	I1	OOX	-X	0.0, 0.0, -33.0
10	J1	XOX	+Y	160.0, 91.5, 37.5

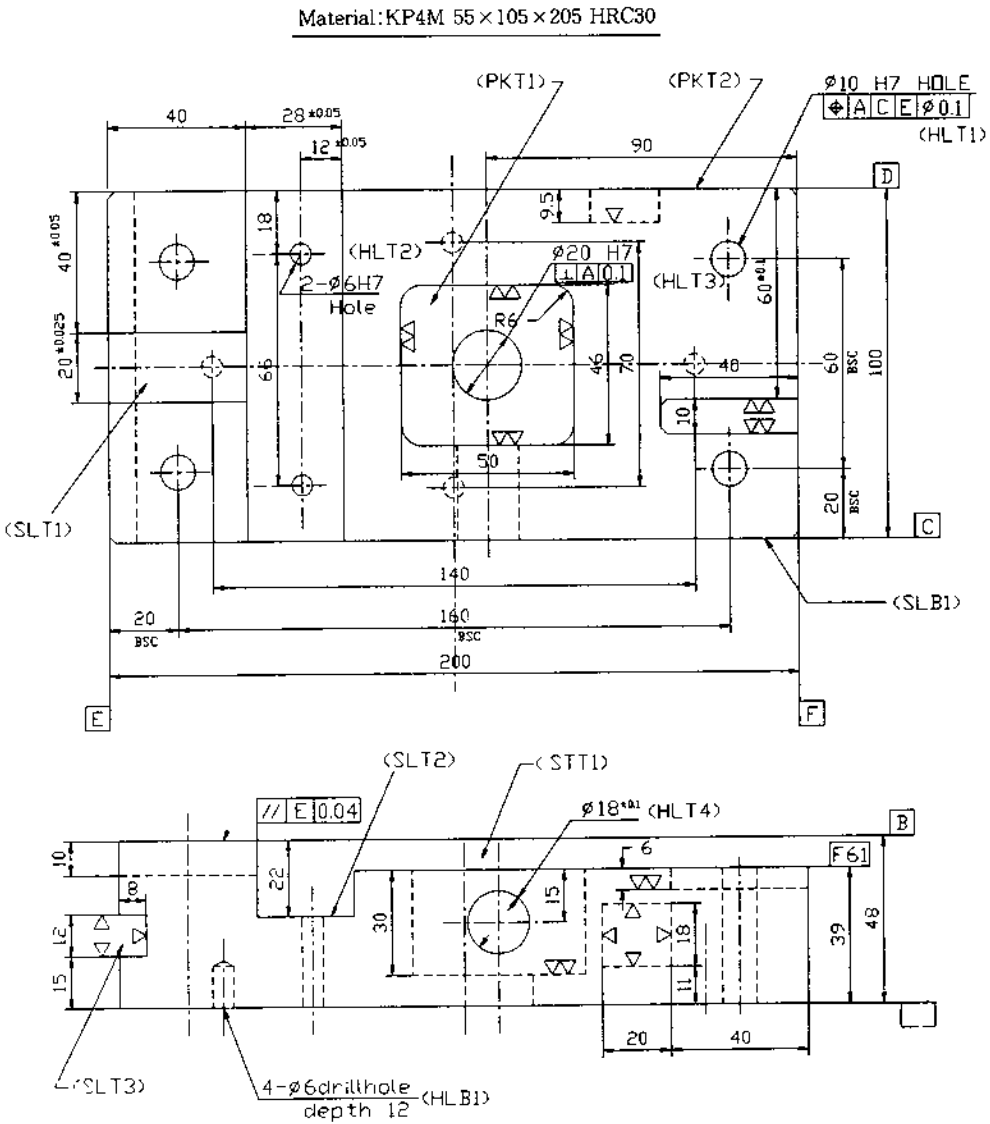
Decision step	Setups
(1)	{A1}, {D1,C1}, {G2, F1}, {B1, H1}, {E2}, {J1}, {I1}
(2)-1, 2	{A1}, {D1, C1}, {G2, F1}, {B1, H1}, {E2}, {J1}, {I1} <A1> <D1> <G2> <H1> <E2> <J1> <I1> (XXO) (XO1) (XX2) (OX1) (XX2) (XOX) (OOX)
(2)-3, 4	{A1}, {D1, C1}, {B1, H1}, {G2, F1}, {E2}, {J1}, {I1} (XO1) (XO1, OOO) (OXO, OX1) (XX2, XX1) (XX2) (XOX) (OOX)
(3)	{A1}, {C1, D1}, {B1, H1}, {F1, G2}, {E2}, {J1}, {I1}

[그림 8] 작업준비의 순서와 작업준비내의 가공순서 결정과정

### 4. 사례연구

[그림9]와 같은 부품도 캐비티플레이트[4]를 입력도면으로 하고 사용기계를 수직밀링머신으로 할 경우의 AFIX가 출력하는 작업준비계획의 리스트는 M모드의 경우는[그림10], B모드의 경우는[그림11]과 같다. 출력된 작업준비계획의 결과는 공정계획자가 수작업으로 행한 것

과 거의 일치하였다. 그러나 AFIX는 부품도에 대한 형상특징 모델링시 사용자가 부품도를 인식하여 입력하고 있는 점과 대상부품이 기준좌표축에 평행한 직육면체 형상에 국한된 점과 사용기계를 수직밀링머신으로 한정시킨 제한점을 갖고 있다. 형상특징의 인식에 관한 문제가 해결되면 치구계획의 자동화 문제는 상당한 진전이 기대된다.



[그림 9] 부품도 캐비티 플레이트



## 5. 결론

본 연구에서는 비회전형상의 부품도와 가공 기계의 입력정보가 주어졌을 때 작업준비, 작업준비별 데이텀체계, 작업준비의 순서, 작업준비내의 가공순서를 자동으로 생성되는 자동 치구계획 시스템 AFIX를 개발하였다. AFIX의 출력은 적용회사의 가공정책에 의한 양산모드와 배치모드의 2가지 모드에 대한 결과가 출력된다. 본 연구에서는 수직형 밀링머신을 사용하여 기본 좌표축에 평행한 공작물에 한정시킨 경우의 결과이므로, 향후 다양한 공작기계와 공작물에 적용되는 자동치구계획시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Ahigrim, S.C., and Chang, T.C., A survey on the Use and Development of Computer Aided Process Planning Systems, TR-ERC 89-6, Purdue University, 1989.
- [2] 人見勝人 著, 曹 圭甲 譯, 生産시스템工學, 喜重堂, 1986.
- [3] Ham, I., and Lu, S.C-Y., Computer-Aided Process Planning : The present and The Future, 38th CIRP General Assembly Keynote Paper, Tokyo, Japan, 1988.
- [4] 조 규갑, 정 영득, 치구계획의 자동화시스템구성 및 데이텀체계의 결정, 산업공학, 4권 2호, 1991.
- [5] Ferreira, P.M., Lu, S.C-Y. and Zhu, X., Conceptual Model for Process Planning : Final Report, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 1989.
- [6] 巖田一明 外, 生産 システム學, コロナ 社, 1982.
- [7] Boerma, J.R., The Design of Fixtures for Prismatic Parts, Ph.D. Thesis, University of Twente, the Netherlands, 1990.
- [8] Foster, L.W. Geometric Dimensioning and Tolerancing A working Guide, Addison-Wesley Publishing Co., 1971.
- [9] ANSI Y 14.5M, Dimensioning and Tolerancing, The American Society of Mechanical Engineerings, 1982.