

기계가공을 위한 공정계획에서의 고정계획의 통합화*

Integration of Fixture Planning with Process Planning for Machining Processes*

김인호**, 조규갑**, 오정수***, 이수홍****

In-Ho Kim**, Kyu-Kab Cho**, Jung-Soo Oh***, Soo-Hong Lee****

Abstract

This paper presents an automatic fixture planning system for machining processes of prismatic parts. A rationalized approach to integrate fixture planning with process planning is proposed and representation schemes for workpiece, part design information with features, machine tools, cutting tools and fixtures are developed. The proposed system implements two activities of fixture planning such as machining of reference surfaces and machining of features. For machining of reference surfaces, the machining sequence of reference surfaces is determined by using decision tables, which are drawn from relations of part dimension, degree of surface roughness, fixture type and its capacity, cutting tool's capacity and experienced planners' knowledge. For machining of features, a preferential machining orientation is selected for its feature which can be machined in more than one direction, and features with the same machining orientation are grouped, and the machining sequence of features is determined by interactive mode. A case study is performed to show the performance of the proposed system.

* 본 연구는 1993년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME93-E-24)의 지원을 받아 수행되었음.

** 부산대학교 기계기술연구소 자동화연구부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

*** 부산대학교 공과대학 산업공학과

**** 연세대학교 공과대학 기계공학과

1. 서론

컴퓨터지원 공정계획(Computer-Aided Process Planning; CAPP)은 공정선정 및 순서결정, 공작기계선정, 작업순서결정, 고정구의 선정 및 설계, 절삭공구와 절삭조건 및 가공경로결정 등의 공정계획기능을 컴퓨터를 이용하여 자동화하는 것으로서, 1960년대 이후로 여러 CAPP 시스템이 개발되었다[1]. 개발된 대부분의 CAPP 시스템은 기계가공에서 공작물의 위치결정(locating)과 지지(holding)를 다루는 고정계획의 자동화, 즉 컴퓨터지원 고정계획(Computer-Aided Fixture Planning; CAFP)에 관한 연구는 저조하며, 공정계획과 고정계획의 통합화를 고려하지 않고 각각 독립적인 시스템으로 개발되고 있다[2]. 고정계획은 공정계획에서 중요한 기능을 가지고 있으므로, 공정계획과 고정계획(fixture planning)의 통합화는 컴퓨터통합생산의 실현을 위해서 해결해야 할 중요한 과제이다.

고정계획의 자동화에 관한 연구는 공작물의 위치결정과 고정방법에 대한 수학적해법을 탐색하는 방법과 컴퓨터를 이용하는 방법으로 대별할 수 있으며, 최근에는 고정계획의 전문가시스템의 개발에 대한 연구도 수행되고 있다[2-4].

Asada와 Andre[5]는 고정구 설계에 수학적 해석을 시도한 연구로서 부품과 고정구의 접촉조건에 기초하여 주어진 부품에 대한 포인트 형태의 고정구 요소들의 위치해석을 위한 방법을 제시하였으며, Chou 등[6]은 스크류 이론에 기초하여 위치결정점과 클램핑 점을 결정하는 방법과 클램핑 힘을 계산하는 방법을 연구하였다.

Ferreira와 Liu[3]는 작업정보, 공작기계의 능력 및 부품정보가 제공되었을 때, 공작기계상에서 공작물 설치를 위해 공작물의 방향을 자동생성하는 규칙베이스시스템을 개발하였다. Englert와 Wright[7]는 경험많은 전문가가 공작물 셋업계획 및 부품의 클램핑을 실행할 때 갖는 패턴을 발견하고, 이를 기계공학의 기본원리와 실험결과에 기초한 모델에 적용하여 클램핑을 실행하는 방법을 연구하였다. Hayes와 Wright[8]는 작업순서와 공작물 셋업순서를 제약하기 위해 특징형상(feature)의 상호작용을 이용하여 셋업계획을 연구하였으며, Sakurai[9]는 공작물의 정확한 위치결정과 같은 고정에 필요한 요구사항들을 고려하여 셋업계획과 고정구설계의 자동화에 관한 연구를 했다. Boerma[4]는 FIXES 프로젝트[10, 11]를 통해 머시닝센터에서 가공되는 비회전형상부품을 대상으로 공차를 이용하여 공작물의 설치와 고정구 설계를 위한 효율적인 방법과 절차를 개발하였다. 공작물 설치를 위해서는 설치횟수의 최소화와 각 설치단계에서 필요한 정렬(alignment)의 최소화를 목표로 하였다.

이상과 같은 기존의 고정계획의 자동화에 대한 연구의 특징을 요약하면, 첫째로 고정계획은 공정계획과는 분리되어 공정계획의 완료 후에 행해지는 분야로서 연구되었으며, 둘째로 고정계획과 공정계획 사이의 관계와 상호작용에 대한 명백한 이해가 없이 부분적인 규칙들을 사용하여 미시적인 관점에서 고정계획을 수행하였으며, 셋째로 고정계획에 중요한 영향을 미치는 요인들인 위치공차, 방향공차, 소재의 초기형상의 불규칙성 및 소재에 가공되어 있는 위치결정면들의 이용가

능여부 등을 고려하지 않고 연구되어 왔음을 알 수 있다.

고정계획은 공작물의 위치결정 및 지지에 관한 계획으로서, 광의의 고정계획에는 셋업 계획(setup planning), 고정구설계(fixture design) 및 고정작업(fixturing operation)의 기능을 포함하나, 본 연구에서 정의한 고정계획은 협의의 고정계획으로서, 특징형상들을 그룹화하여 각 셋업으로 할당하는 것과 이러한 결과로서 발생하는 셋업간 순서의 결정 및 절삭공구에 따라 각 셋업에서의 특징형상의 방향(orientation)과 위치(position)를 결정하는 셋업계획[12]을 의미하며, 구체적으로는 부품의 가공기준면과 특징형상의 가공을 위한 셋업계획을 의미한다.

본 연구는 수직밀링머신에서 가공되는 비회전형상부품을 대상으로 공정설계와 통합화된 고정계획시스템의 개발을 위한 합리적인 접근방법을 제시하며, 고정계획에서 필요로 하는 정보에 관한 데이터베이스의 구축 및 고정계획에 관련된 규칙을 이용하여 기준면과 특징형상의 가공을 위한 고정계획을 수행함으로써 공정설계와 통합화된 공작물 고정계획에 대한 프로토타입시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 전문가시스템용 톨인 EXSYS와 C 언어를 사용하여 개인용컴퓨터에서 운용이 되는 시스템을 개발하였다.

2. 고정계획 시스템의 자동화

2.1 공정설계와 통합화된 고정계획시스템의 개요

본 연구에서 구축한 공정설계와 통합화된 고정계획시스템은 그림 1과 같이 소재, 부품

설계, 공작기계, 절삭공구, 고정구 등에 관한 데이터, 제조지식베이스 등을 입력정보로 하여 각 가공공정에 대한 공정설계와 동시에 고정계획을 실행하며, 이 경우에 공정계획시스템에서 초기에 선정된 공정설계가 고정계획의 결과에 의해서 변경이 필요할 시에는 공정설계의 변경을 통하여 고정계획과 통합화하는 시스템이다.

2.2 고정계획을 위한 데이터베이스 구축

공작물 고정계획에 필요한 정보는 가공기술적인 영향요소들을 고려하여 소재정보, 부품설계정보, 공작기계정보, 고정구 및 요소정보로서 이들에 관한 데이터베이스를 구축하였다.

생산현장에 제공되는 소재는 다양한 기하형상과 표면상태를 가지며, 기하형상은 고정구의 종류를 선정하는 기준이 되고, 소재의 표면상태는 작업자가 소재를 가공할 때 바이스의 물림면에 접촉시킬 기준면을 정하는 기준이 된다. 본 연구에서는 이와 같이 가공시 고정계획에 중요한 영향을 주는 소재정보의 표현을 위해 그림 2와 같이 소재의 길이(L), 폭(W), 높이(H) 방향의 X, Y, Z 축으로 정의된 직각좌표계와 소재를 구성하는 표면인 F_i ($i=1,2,\dots,6$) 및 표면 F_2, F_4, F_6 이 만나는 점 O를 원점으로 하였으며, 기하형상, 표면상태, 치수, 재질 및 경도의 속성을 소재정보의 데이터베이스에 구성하였다.

부품설계정보의 데이터베이스에는 부품의 일반정보인 부품번호, 부품명칭, 도번, 기계적 성질, 가공수량 등의 정보와 공작물의 기준면의 방향, 기준면을 구성한 점들의 좌표값 및 존재하는 특징형상의 수로 구성된다.

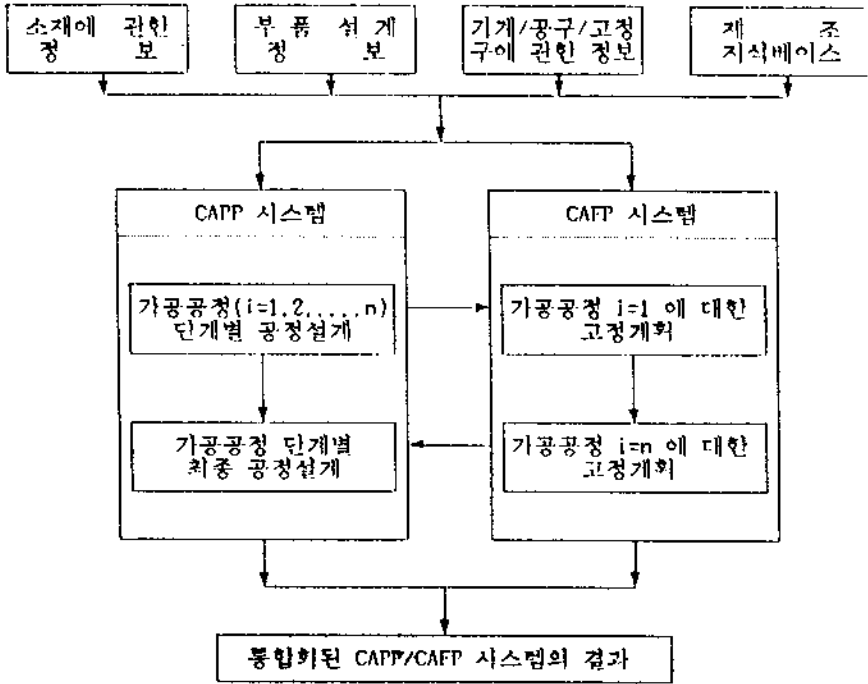


그림 1. 공정설계와 고정계획을 통합화한 시스템의 개념도

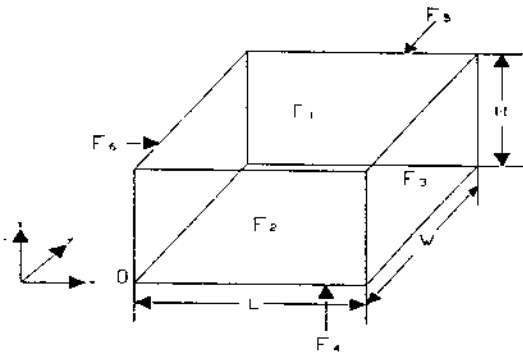


그림 2. 소재의 표면번호 및 치수

존재하는 특징형상의 속성으로는 고유번호, 명칭, 주변기하형상, 요소표면, 크기, 방향, 거칠기 및 공차 등이다. 본 연구에서는 부품에 존재가능한 기본특징형상(basic feature)의 종

류를 그림 3과 같이 정의하여 분류하였다. 그림 3에서 공구의 접근방향은 기계주축상의 공구가 특징형상을 가공하기 위해 접근할 수 있는 모든 운동방향이며, 주변기하형상은 특징형상을 보았을 때의 존재가능한 경계형태들이다. 관통된 특징형상들은 관통되는 방향으로 보았을 때 존재가능한 각종 경계형태들이며, 비관통 특징형상들은 공구가 특징형상에 접근한 후 가공하는 방향에 따라 존재가능한 경계형태들이다.

공작기계 데이터베이스는 공작기계의 종류, 주축방향, 작업능력 및 동일한 셋업으로 가공가능한 표면들의 수의 속성을 포함하며, 고정구 데이터베이스에는 종류, 호칭, 치수, 위치결정기능, 지지기능, 고정기능 및 접촉면

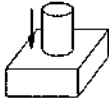
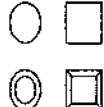
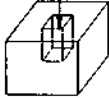
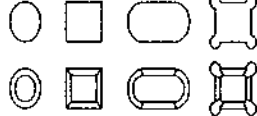
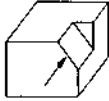

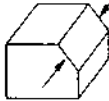
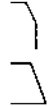
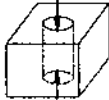

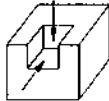
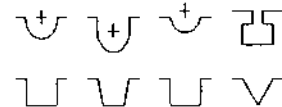
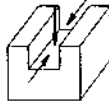
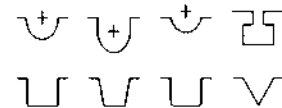
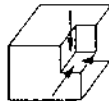
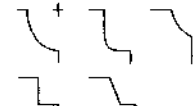
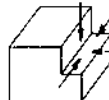

Feature Type	Basic Feature and Access Direction	Number of Access Direction	Perimeter Geometry
BOSS		1	
POCKET		1	
NOTCH _BLIND		1	
NOTCH _THROUGH		2	
HOLE		2	
SLOT _BLIND		2	
SLOT _THROUGH		3	
STEP _BLIND		3	
STEP _THROUGH		4	

그림 3. 기본특징형상

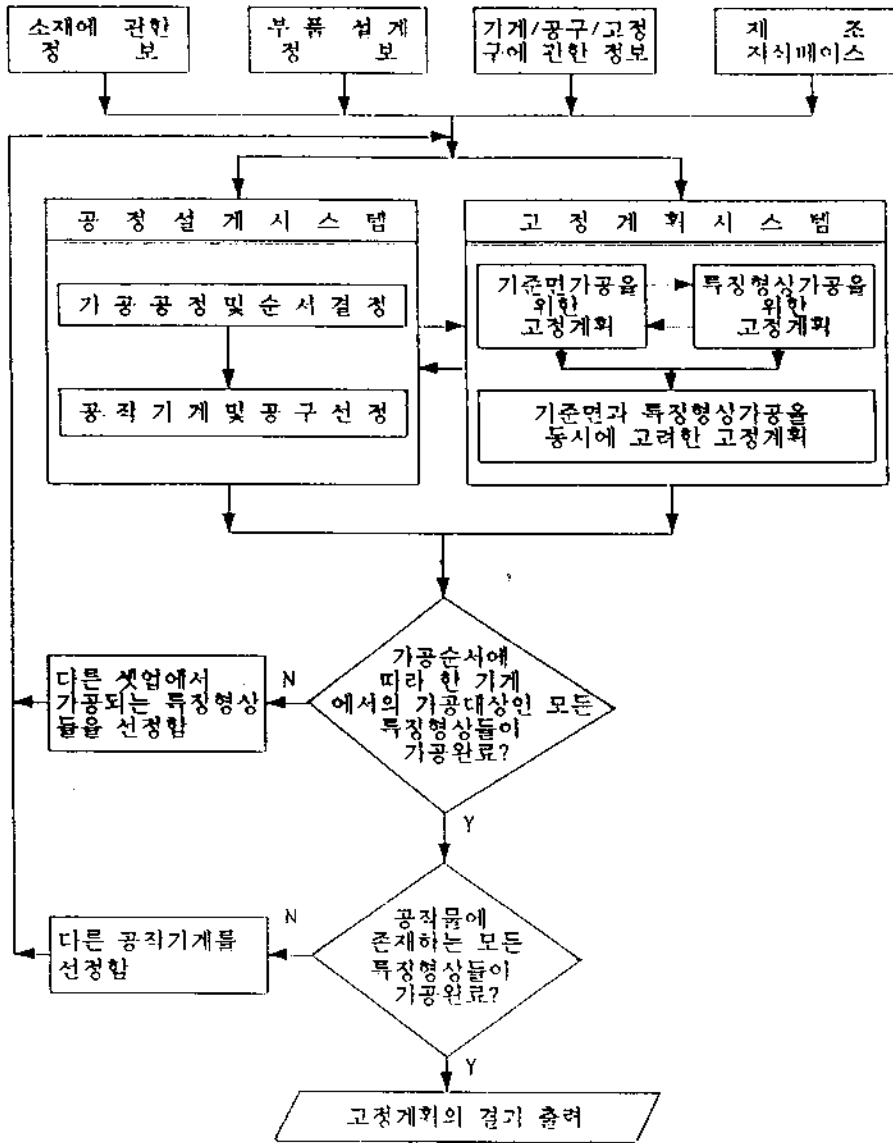


그림 4. 고정계획 시스템의 흐름도

의 속성으로 구성된 정보로 구축하였다.

2.3 고정계획 시스템의 자동화

본 연구는 고정계획을 위한 입력정보로부터 가공기준면과 특징형상의 가공을 위한 고

정계획을 자동으로 수행하는 고정계획의 자동화시스템을 개발하였으며, 그 흐름도는 그림 4와 같다.

기준면가공을 위한 고정계획에서는 고정구의 종류에 따라 기준면의 가공순서와 위치결

정, 지지 및 클램핑면 등이 정해진다. 특징형상가공을 위한 고정계획에서는 동일한 방향의 특징형상을 그룹화하여 각 셋업으로 할당된 후 특징형상들 간의 가공순서를 대화식으로 입력하여 수행한다. 주어진 소재로부터 부품의 가공을 완료하기까지의 고정계획은 앞서 결정된 가공기준면과 특징형상의 가공을 동시에 고려하여 수행하는 데, 이를 위해 본 연구에서는 동일한 셋업으로 가공할 수 있는 기준면과 특징형상을 찾아 연속으로 가공하게 함으로써 셋업횟수를 최소화하는 기능을 수행한다.

2.3.1 기준면 가공을 위한 고정계획

부품을 가공하기 전에 소재의 표면상태에 따른 기준면의 가공은 향후 부품을 구성하는 특징형상들의 가공을 위한 표면을 제공한다.

본 연구에서는 기준면의 가공을 위해 경험 많은 작업자가 사용하는 규칙들을 분석, 정리하여 고정계획에 적용하였으며, 다음은 이들 규칙의 일부분을 보여준다.

(규칙 1) 기준면으로 사용하기 위해, 가능한 한 인접하는 세개의 직각면을 먼저 가공한다.

(규칙 2) 소재를 구성한 표면이 모두 거친 절단면이면, 페이스밀링 가공을 위해서 바이스에 소재를 물릴 때 두개의 가장 넓은 면 중 한 면을 가장 먼저 가공할 수 있도록 주 기준면을 정한다.

(규칙 3) 소재의 표면 중 가장 넓은 표면이 압연가공 이상의 가공방법에 의해 매끄럽게 제공되었다면, 그 표면을 고정턱의 물림면과 접촉

시켜 클램핑하여 주 기준면으로 사용한다.

본 연구에서는 소재의 치수, 표면상태, 고정구의 종류, 능력 및 절삭공구의 치수관계를 고려하고, 앞서 언급한 규칙들을 적용함으로써 1회의 셋업으로 가공가능한 소재표면의 갯수 및 기준면의 가공순서를 결정하는 의사결정표를 구축하였으며, 표 1은 한 예를 보여준다. 이러한 지식은 EXSYS에서 IF-THEN 형식에 의해 작성되어 실행되며, 다음은 표 1에서 가공순서 'C'가 선정되는 경우에 대한 규칙의 예이다.

RULE NUMBER : 37

IF:

```
[WISE-W] < ( [PL] -5 )
and ( [PW] - 5 ) < ( [WISE-W] * 2 )
and ( [PW] - 5 ) > [WISE-W]
and [CT-L] > [PH]
and ( ( [FACE-1] == "R" ) || (
[FACE-4] == "R" ) )
and ( ( [FACE-2] == "F" ) || (
[FACE-5] == "F" ) )
```

THEN:

Sequence type C - Confidence=10/10

2.3.2 특징형상의 가공을 위한 고정계획

공작물에 존재하는 특징형상들을 가공하기 위해서는 동일한 셋업에서 가공할 수 있는 특징형상들을 그룹화하고 특징형상 상호간의 가공순서를 결정하는 고정계획을 수행해야 하며, 이들은 특징형상의 종류, 위치, 크기, 방향, 표면조도, 공차 및 데이텀들을 정확히 파

표 1. 기준면의 가공순서 결정을 위한 의사결정표

바이스 물림 나비 < (소재 길이 - 5)	(소재 폭 - 5) < 바이스 물림 나비의 2배	(소재 폭 - 5) > 바이스 물림나비	측면가공용 공구의 절삭날 최대길이 > 소재높이	소재 표면 상태						가 공 순 서 종 류
				넓은 면		중간 면		좁은 면		
				거칠	매끄 러움	거칠	매끄 러움	거칠	매끄 러움	
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	A
1	1	1	1	0	1	1	0	-	-	B
1	1	1	1	1	0	0	1	-	-	C
1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	D
1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	C

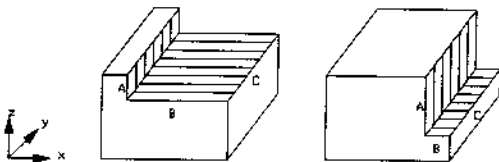
※ - 표시는 표면의 상태가 의사결정과 무관함을 의미함.

표 1. (계속)

가공순서의 종류	소재표면의 가공순서
A	$F_1 \rightarrow F_2 \rightarrow F_5 \rightarrow F_4, F_3, F_6$
B	$F_2 \rightarrow F_5$ $\begin{cases} \rightarrow F_1, F_3, F_6 \rightarrow F_4 \\ \rightarrow F_1 \rightarrow F_4, F_3, F_6 \end{cases}$
C	F_1, F_3, F_6 $\begin{cases} \rightarrow F_2 \rightarrow F_5 \rightarrow F_4 \\ \rightarrow F_4 \rightarrow F_2 \rightarrow F_5 \end{cases}$
D	$F_1, F_2 \rightarrow F_5 \rightarrow F_4, F_3, F_6$

악하므로써 실행된다.

(1) 특징형상의 위치와 크기



(a) STEP_THROUGH (A<B) (b) STEP_THROUGH (A>B)

그림 5. A, B의 대소 관계에 의한 관통스텝
특징형상

특징형상의 위치와 크기는 공작물 고정계획에서의 위치결정, 지지 또는 클램핑면의 결정에 영향을 미친다. 예를 들면, 그림 5의 (a),

(b)와 같이 +Y, -Y, -X의 기본방향을 갖는 ‘관통 스텝’이 A×B×C의 크기로 존재하는 공작물을 살펴보자. 그림 5의 (a)와 같이 A가 짧고 B가 긴 경우는 X 또는 Y 방향으로 클램핑을 해야 하며, 그림 5의 (b)와 같이 A가 길고 B가 짧은 경우는 Y 방향이나 Z 방향으로 클램핑해야 하는데, 이는 가공할 공구의 절삭가능한 길이 뿐만 아니라 클램핑할 때의 접촉표면이 고정구와 접촉해도 좋을만큼 충분히 넓은 지를 고려해야 하기 때문이다. 이와 같이 공작물 고정계획을 위해서는 공작물 상의 특징형상의 위치와 크기를 알아야 하며, 본 연구에서는 이를 위해 그림 6과 같이 공작물의 원점(O)으로부터 가장 가까운 거리에 있는 특징형상의 한 점을 특징형상의 기본위치(BP)로 설정하고 이 위치로부터 특징형상의 크기인 L×W×H를 입력하여 데이터베이스에 저장하도록 하였다. 다만, 주변기하형상이 원(circle)인 특징형상은 원점으로부터 가장 가까운 거리의 중심점을 기본위치로 하고 크기는 반경과 높이로 표현하며, 노치(Notch)는 특정점(SP)을 기본위치로 하

고 크기는 다른 특징형상과 같이 $L \times W \times H$ 의 속성치로써 표현하였다.

이상의 동일한 기본방향을 가질 때에는 그들 중 우선하는 방향을 정해야 하며, 그 방향은

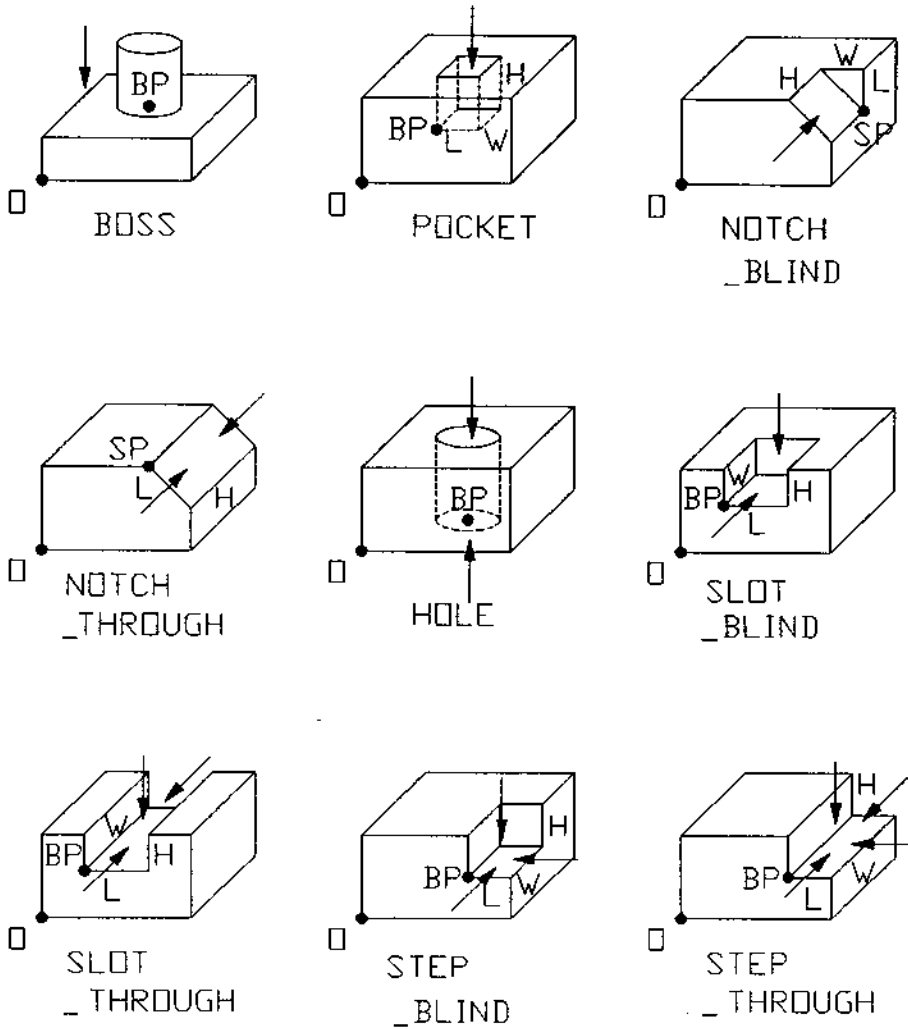


그림 6. 특징형상의 원점에 대한 기본위치 및 방향

(2) 특징형상의 기본방향

본 연구에서 분류한 각 특징형상의 기본방향은 그림 3에서 언급한 것처럼 특징형상의 가공을 위한 공구의 접근방향으로서 하나 이상의 기본방향을 가진다. 특징형상이 두 개

다른 특징형상들과의 공차 및 데이터관계, 특징형상을 구성한 요소표면의 위치 및 크기를 비교하여 정해진다.

(3) 표면거칠기

특징형상의 표면거칠기 값은 요소표면의

기능에 따라 서로 다른 값이 규정될 수 있으며, 이들은 도면상에 R_{max} , R_z , R_a 또는 다듬질 기호 중 하나의 형태로 제공된다[13]. 따라서, 본 연구에서는 하나의 특징형상의 요소표면들 중 표면거칠기가 가장 양호한 하한 값을 그 특징형상의 표면거칠기 값으로 삼았으며, 이 값을 ISO가 추천한 표면거칠기 등급번호[14]로 변환하여 특징형상 데이터베이스에 저장토록 하였다.

(4) 데이텀 및 공차

부품의 설계, 가공, 검사 및 조립에 필요한 데이텀(Datum)은 관련형상에 기하공차를 지시할 때 그 공차영역을 규제하기 위하여 설정한 이론적으로 정확한 기하학적 기준으로 정의된다[15]. 데이텀은 점, 선, 표면 또는 솔리드 등의 특징형상과 관련된 요소들이며, 기능에 따라 설계 데이텀, 셋업 데이텀, 검사 데이텀 및 조립 데이텀으로 분류할 수 있다[1]. 이들 중 공작물 고정계획과 관련된 셋업 데이텀은 위치결정 데이텀으로 부르기도 하는데, 공작물을 공작기계의 고정구 상에서 클램핑하여 가공할 때, 작업치수와 절삭공구 사이에서 명확하고 일정한 위치관계를 유지시켜 주는 데이텀이다.

설계도면 상의 부품의 특징형상은 치수와 함께 공차정보를 갖는다. 공차의 종류는 치수공차, 모양공차, 자세공차, 위치공차, 흔들림공차 및 윤곽도공차로 분류되며[16], 모양공차를 제외한 공차들은 특징형상 상호간의 가공순서결정에 영향을 준다. 치수공차는 명시된 데이텀은 없으나 두 특징형상의 요소표면 사이의 허용오차관계를 나타내므로 기준이 되는 특징형상과 다른 특징형상과의 관계가 있을 때 규정할 수 있으며, 자세공차, 위

치공차, 흔들림공차 및 윤곽도공차는 데이텀과 유관하며 특징형상 상호간의 가공순서결정에 영향을 주는 요소이다.

(5) 특징형상의 가공순서의 결정

특징형상의 속성값이 입력되면 2개 이상의 방향을 가진 특징형상들이 파악되며, 이러한 특징형상들은 다른 특징형상과의 공차 및 데이텀관계, 특징형상을 구성한 요소표면의 방향과 크기를 고려하여 가공을 위한 유일한 기본방향이 확정된다. 그리고 특징형상의 방향, 공차, 데이텀 및 3-2-1 위치결정원리를 적용하고 최종적으로 사용자와의 대화를 통하여 특징형상들의 가공순서가 결정된다.

2.3.3 고정계획 시스템의 자동화

본 연구에서는 앞서 결정된 가공기준면과 공작물의 특징형상의 가공순서를 동시에 고려하여 주어진 소재로부터 부품의 가공을 완료하기까지의 고정계획을 자동으로 수행하는 시스템을 개발하였으며, 이 시스템의 흐름도는 그림 7과 같다.

개발한 시스템의 입력정보는 그림 7에서 보는 바와 같이 공정설계의 결과인 각 셋업에서 가공되는 특징형상에 관한 정보와 고정계획에서 수행되는 가공기준면에 관한 정보이다. 특징형상에 관한 정보는 고정계획에 중요한 영향을 미치는 특징형상의 종류, 위치, 크기, 방향, 표면조도, 공차 및 데이텀의 관계를 고려하여 생성되며, 가공기준면에 관한 정보는 소재의 치수, 초기형상의 표면상태, 고정구의 종류, 능력 및 절삭공구의 치수관계를 고려하여 그들의 가공순서가 결정되어 입력정보로 사용된다.

개발한 시스템은 이러한 입력정보로부터

특징형상의 가공을 위해 필요한 소재의 가공 기준면 또는 데이텀 표면들이 가공되었는 지를 확인한 후, 동일한 셋업에서 가공가능한 기준면과 특징형상을 찾아 연속으로 가공하게 하므로써 셋업횟수를 최소화하는 기능을 수행하는 시스템으로서, 공정설계정보와 고정계획정보를 통합화한 자동화된 고정계획시스템이다.

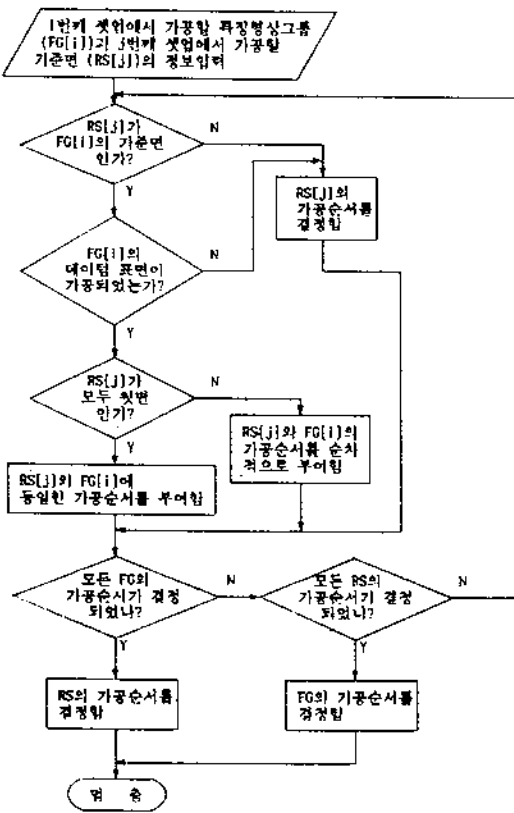


그림 7. 자동화된 고정계획시스템의 흐름도

3. 사례연구

본 연구에서 개발한 자동화된 고정계획 시스템을 평가하기 위하여 그림 8과 같은 예제 도면을 대상으로 적용하였다. 사용된 소재는

재질이 SM45C이고 95×55×35(mm)의 크기로서 넓은 면은 거칠고 나머지 표면들은 매끄러운 상태로 제공된다고 가정한다.

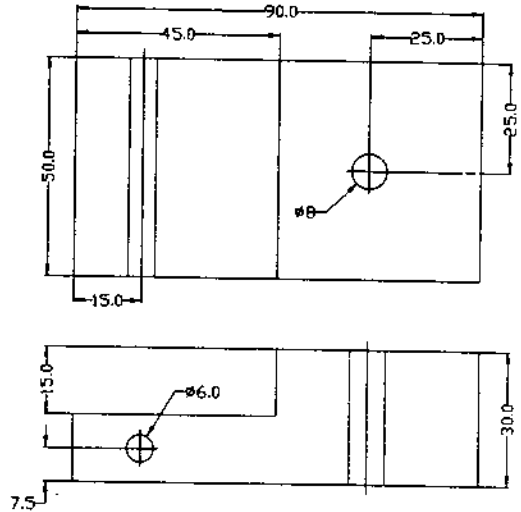


그림 8. 예제 도면

(1) 공정계획과 고정계획을 통합화하지 않은 경우 : 이 경우의 결과로서 기준면과 특징형상의 가공을 위한 고정계획이 그림 9와 같이 출력된다. 여기서 $F_i(a,0)$, $F_i(a,1)$ 은 각각 $+a$, $-a$ 방향을 갖는 기준면 i 를 의미하며, $FEAT(i,x,y,z,a,n)$ 은 특징형상 i 의 기본위치의 좌표가 (x,y,z) 이고 n 의 값이 0, 1 또는 2가 됨에 따라 각각 $+a$, $-a$ 또는 양 방향으로 접근방향을 갖는 특징형상임을 의미한다. 그림 9에 나타난 바와 같이 기준면과 특징형상의 가공을 각각 독립적으로 수행한 경우에 기준면은 4회의 셋업으로 가공되고 특징형상들은 2회의 셋업으로 가공되므로 6회의 셋업횟수가 필요하다.

(2) 공정계획과 고정계획을 통합화한 경우 : 이 경우에는 기준면과 특징형상의 가공을 동

셋업횟수	-	가공할 기준면	-	바이스 접촉면
1	-	F1(Z, 0)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
1	-	F3(X, 0)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
1	-	F6(X, 1)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
2	-	F2(Y, 1)	-	F1(Z, 0) F5(Y, 0) F4(Z, 1)
3	-	F5(Y, 0)	-	F1(Z, 0) F2(Y, 1) F4(Z, 1)
4	-	F4(Z, 1)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)

(a) 기준면의 가공을 위한 고정계획

셋업횟수	-	가공할 특징형상	-	바이스 접촉면
A	-	FEAT(HOLE, 15, 7.5, 0, Y, 2)	-	F1(Z, 0) F2(Y, 1) F4(Z, 1)
B	-	FEAT(HOLE, 65, 0, 25, Z, 2)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)
B	-	FEAT(STEPT, 0, 15, 0, Z, 0)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)

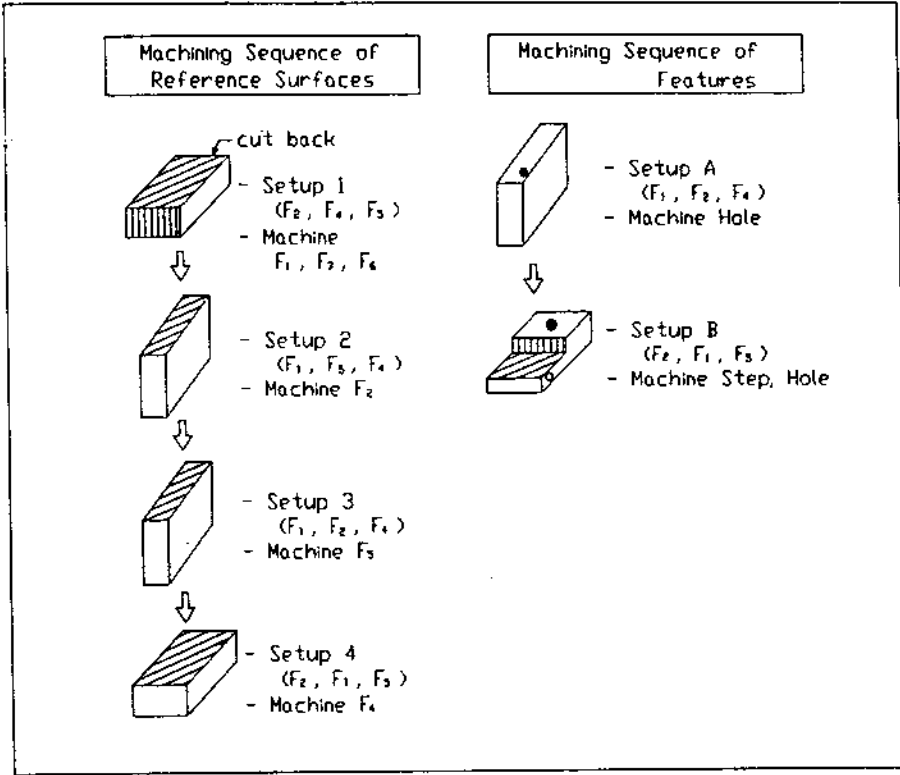
(b) 특징형상의 가공을 위한 고정계획

그림 9. 공정계획과 고정계획의 통화화 이전의 고정계획결과

셋업횟수	-	가공할 기준면 또는 특징형상	-	바이스 접촉면
1	-	F1(Z, 0)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
1	-	F3(X, 0)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
1	-	F6(X, 1)	-	F2(Y, 1) F4(Z, 1) F5(Y, 0)
2	-	F2(Y, 1)	-	F1(Z, 0) F5(Y, 0) F4(Z, 1)
3	-	F5(Y, 0)	-	F1(Z, 0) F2(Y, 1) F4(Z, 1)
3	-	FEAT(HOLE, 15, 7.5, 0, Y, 2)	-	F1(Z, 0) F2(Y, 1) F4(Z, 1)
4	-	F4(Z, 1)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)
4	-	FEAT(HOLE, 65, 0, 25, Z, 2)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)
4	-	FEAT(STEPT, 0, 15, 0, Z, 0)	-	F2(Y, 1) F1(Z, 0) F5(Y, 0)

그림 10. 공정계획과 고정계획의 통합화 시스템의 실행결과

(1) 공정계획과 고정계획이 통합화 되지 않은 경우



(2) 공정계획과 고정계획이 통합화 된 경우

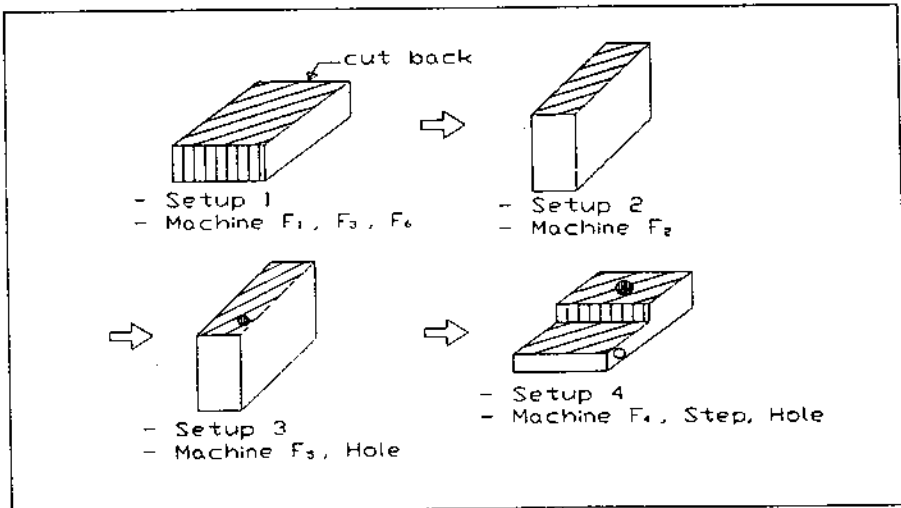


그림 11. 적용결과에의 도식적 비교

시에 고려하며 그림 10과 같이 셋업 3에서의 기준면 가공과 셋업 A에서의 특징형상 가공, 셋업 4에서의 기준면 가공과 셋업 B에서의 특징형상 가공을 각각 동일한 셋업으로 가공하여, 4회의 셋업횟수로써 부품의 가공을 완료함을 알 수 있으며 개발한 시스템의 유효성을 입증하였다. 그림 11은 적용결과의 도식적인 비교를 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 수직밀링머신 상에서 가공되는 비회전형상부품을 대상으로 공정설계와 통합화한 고정계획시스템을 구축하였으며, 이 시스템은 공정설계결과를 입력정보로 하여 선정된 각 가공공정에 대한 고정계획을 실행하며, 이 경우에 공정계획시스템에서 초기에 선정된 공정설계의 변경이 필요할 시에는 공정설계의 변경을 통하여 고정계획과 통합화하는 시스템이다.

개발한 시스템은 공정계획에서 필요로 하는 정보에 관한 데이터베이스의 구축 및 고정계획에서 사용하는 지식과 규칙을 이용하여 가공기준면과 특징형상의 가공을 위한 고정계획을 수행하는 시스템으로서, 데이터베이스의 구축 모듈에서는 소재정보, 부품설계정보, 공작기계정보 및 고정구정보들의 데이터베이스를 구축하여 공작물 고정계획을 위한 입력정보를 제공한다. 기준면의 가공을 위한 고정계획 모듈에서는 소재와 관련한 정보들과 규칙을 사용하여 동일한 셋업으로서 가공가능한 소재표면의 갯수 및 가공순서를의 사결정표를 이용하여 결정한다. 특징형상의 가공을 위한 고정계획 모듈에서는 특징형상

의 종류, 접근방향, 위치 등의 속성으로부터 특징형상들을 그룹화하고 이들 상호간의 가공순서를 결정한다. 기준면과 특징형상의 가공을 동시에 고려한 고정계획 모듈에서는 동일한 셋업으로서 가공할 수 있는 기준면과 특징형상을 찾아 연속으로 가공하게 하므로써 셋업횟수를 최소화하는 기능을 수행한다.

개발한 고정계획의 자동화시스템은 첫째, 공구설계자나 작업자에 의존하여 수행되어 온 고정계획분야를 자동화하므로써 합리적이고 일관된 결과를 제공하며 둘째, 공정설계와 고정계획을 통합하므로써 보다 자동화된 공정계획시스템의 구축을 위한 기틀을 마련하였으며 셋째, 고정계획에서 기준면과 특징형상의 가공을 동시에 고려하여 셋업횟수를 단축하므로써 생산성향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 다양한 공작기계와 고정구정보들을 대상으로 한 고정계획시스템의 개발이 필요할 것으로 사료되며, 입력정보로서 사용되는 기본 특징형상에 대한 표준 가공방법들을 연구하면 자동생산시스템을 위해 유용한 정보로서 사용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Zhang, H. C., and Alting, L., *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, Chapman & Hall, 1994.
- [2] Chang, C. H., "Computer-Assisted Fixture Planning For Machining Processes", *Manufacturing Review*, Vol.5, No.1, pp. 15-28, 1992.
- [3] Ferreira, P. M., and Liu, C. R., "Genera-

- tion of Workpiece Orientations for Machining Using a Rule-Based System”, *Robotics and CIM*, Vol.4, No.3/4, pp.545-555, 1988.
- [4] Boerma, J. R., “The Design of Fixtures for Prismatic Parts”, Ph.D. Thesis, University of Twente, Netherlands, 1990.
- [5] Asada, H. and Andre, B., “Kinematic Analysis of Workpart Fixturing for Flexible Assembly With Automatically Reconfigurable Fixtures”, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-1(2), pp.86-94, June, 1985.
- [6] Chou, Y. C., et al., “A Mathematical Approach to Automatic Design of Fixtures : Analysis and Synthesis”, *Journal of Engineering for Industry*, 111, pp.299-306, 1989.
- [7] Englert, P. J. and Wright, P. K., “Principles for Part Setup and Workholding in Automated Manufacturing”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 7, No. 2, pp.147-161, 1988.
- [8] Hayes, C. and Wright, P., “Automating Process Planning : Using Feature Interactions Guide Search”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 8, No. 1, pp.1-15, 1989.
- [9] SaKurai, H., “Automatic Setup Planning and Fixture Design for Machining”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 1, pp.30-37, 1992.
- [10] Boerma, J. R. and Kals, H. J. J., “FIXES, a System for Automatic Selection of Set-Ups and Design of Fixtures”, *Annals of the CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 443-446, 1988.
- [11] Boerma, J. R. and Kals, H. J. J., “Fixture Design with FIXES : the Automatic Selection of Positioning, Clamping and Support Features for Prismatic Parts”, *Annals of the CIRP*, Vol. 38, No. 1, pp. 399-402, 1989.
- [12] Ong, S. K. and Nee, A. Y. C., “Application of Fuzzy Set Theory to Setup Planning”, *Annals of the CIRP*, Vol. 43, No. 1, pp.137-144, 1994.
- [13] 한국공업규격 KS B 0161, “표면거칠기”, 1987.
- [14] Boothroyd, G., *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, McGraw-hill Book Company, pp.141, 1988.
- [15] 한국공업규격 KS B 0243, “기하공차를 위한 데이텀”, 1987.
- [16] 한국공업규격 KS B 0608, “기하공차의 도시방법”, 1987.