

〈논 문〉

밀링 공정설계의 특징형상 데이터 모델

이충수* · 노형민*

(1996년 2월 28일 접수)

A Feature Data Model in Milling Process Planning

Choong-Soo Lee and Hyung-Min Rho

Key Words : CAD/CAPP/CAM Integration(CAD/CAPP/CAM 통합), Feature(특징형상), Part Description Data(부품서술 데이터), Geometric Data(기하학적 데이터), Machining Data(가공기술적 데이터)

Abstract

A feature is well known as a medium to integrate CAD, CAPP and CAM systems. For a part drawing including both simple geometry and compound geometry, a process plan such as the selection of process, machine tool, cutting tool etc. normally needs simple geometry data and non-geometry data of the feature as the input. However, a extended process plan such as the generation of process sequence, operation sequence, jig & fixture, NC program etc. necessarily needs the compound gemoetry data as well as the simple geometry data and non-geometry data. In this paper, we propose a feature data model according to the result of analyzing necessary data, including the compound geometry data, the simple geometry data and the non-geometry data. Also, an example of the feature data model in milling process planning is described.

1. 서 론

공정설계 자동화를 위한 주요 연구 분야 중의 하나는 설계 도면에 나타난 부품 특징형상의 추출이다. 이에 선행되어야 할 조건은 특징형상에 관한 명확한 정의와 분류이다. Butterfield 등⁽¹⁾은 특징형상을 박관 특징형상, 비회전 특징형상, 회전 특징형상으로 분류하였다. 이중 비회전 특징형상을 함몰형과 돌출형으로 분류하였으며, 회전 특징형상을 동심형과 비동심형으로 분류하였다. Gindy⁽²⁾는 공구의 외부 접근방향의 수, 경계형태-개방형 또는 폐쇄형, 공구의 출구상태-관통 또는 비관통 등에 따라 특징형상을 boss, pocket, hole, slot 등의 9가

지로 분류하였다. Gandhi 등⁽³⁾은 같은 피라미터를 갖는 특징형상을 같은 그룹으로 정의하여, 특징형상을 둥근, 모남, 굴곡 등의 5가지로 분류하였다. Lauwers 등⁽⁴⁾은 방전가공에 대한 특징형상을 함몰/돌출 여부, 각주형/회전형 여부, 관통/비관통 여부에 따라 20여 종류로 분류하였다.

상기의 연구들은 단순한 형태의 기하형상에 대해서는 정확히 분류되어 있으나, 복잡한 특징형상의 인식과 특징형상간 복합관계의 인식과 같은 도면정보 인식 기술의 한계때문에 단순한 기하형상이 복합된 형태의 기하형상에 대해서는 연구되어 있지 않았으므로 정밀한 공정설계를 수행할 수 없다. 즉, 단순한 형태의 기하형상 데이터와 재질, 정밀도와 같은 비기하학적 데이터를 이용하여 공정, 기계, 공구결정 등과 같은 간단한 공정설계 항목^(5,6)을 결정할 수 있으나 공정순서, 작업순서, 치공구,

*회원, 한국과학기술연구원 기전연구부

NC 프로그램의 생성 등과 같은 기능이 확장된 공정설계 항목^(7, 8)을 수행하는 데에는 어려움이 있다. 그러므로 이러한 공정설계를 수행하기 위하여 단순한 형태의 기하학적 데이터와 비기하학적 데이터뿐만 아니라 복합된 형태의 기하학적 데이터가 추가로 필요하다. 따라서 확장된 공정설계 수행에 필수적인 단순한 기하형상 데이터, 복합된 기하형상 데이터, 비기하학적 데이터에 대한 구체적인 분석이 필요하며, 분석결과에 따라 필요한 데이터들을 데이터 특성에 의해 체계적으로 분류/정의한 특징형상 데이터의 표현방법이 개발되어야 한다.

본 연구에서는 밀링가공을 하는 각주형 특징형상을 대상으로, 각 공정설계 항목에서 필요로 하는 데이터를 조사/분석한 후, 필요한 데이터를 특성에 따라 부품 서술 데이터(part description data), 기하학적 데이터(geometric data), 가공 기술적 데이터(machining data)로 분류/정의하여 표현한 특징형상 데이터 모델을 제안하였다. 이 데이터 모델은 단순한 기하학적 데이터뿐만 아니라 복합된 기하학적 데이터를 포함하고 있다. 특히 공정순서 및 작업순서 결정에서 상관관계로 작용하는 데이터, 즉 기하형상간의 위상관계와 기하공차에 의한 기준면 정보를 포함하고 있다. 그리고 이 특징형상 데이터 모델을 이용하여 공정설계를 수행한 사례를 정리하였다.

2. 필요한 특징형상 데이터의 분석

특징형상 데이터를 분류/정의하기 전에 공정설계

의 항목들을 수행하기 위하여 필요한 데이터의 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 사출금형⁽⁹⁻¹¹⁾과 공작기계 부품⁽¹²⁾을 대상으로 숙련 공정설계자와 인터뷰했던 경험 및 공정설계 시스템 개발 경험을 토대로 필요한 데이터를 분석/정리하였다.

공정설계 항목을 Fig.1의 오른쪽과 같이 공정 선정, 기계 결정, 치공구 결정, 공정순서 결정, 작업방법 선정, 공구 및 절삭조건 결정, 공수계산, NC 프로그램 생성, 작업순서 결정 등의 항목으로 분류하여, 각 항목 수행에 필요한 데이터를 파악하기 위하여 숙련 공정설계자들에게 설문조사를 실시하였다. 설문조사지를 취합하여 집단 토의를 통하여 검증한 후, 결정된 필요한 데이터는 Fig.2의 첫번째 열과 같이 재질, 경도, 소재형상, 부품크기, 특징형상 종류 등이다. 예를 들어, Fig.2에 나타나 있는 공정설계 항목 중의 하나인 작업방법 결정은 특징형상의 형태, 특징형상간의 위상관계, 특징형상의 크기, 기하공차, 치수공차, 거칠기 등의 특징형상 데이터를 고려한 알고리즘에 의해 결정된다. 또한 공정순서 및 작업순서 결정에는 특징형상의 형태, 위상관계, 기준 특징형상 데이터 등이 필요함을 알 수 있다.

3. 특징형상 데이터 모델

Fig.2의 좌측 열에 나타나 있는 공정설계 수행에 필요한 데이터들의 특성을 살펴보면, 부품에 관련된 데이터, 부품을 구성하는 특징형상의 기하형상에 관련된 데이터, 특징형상의 공차에 관련된 데

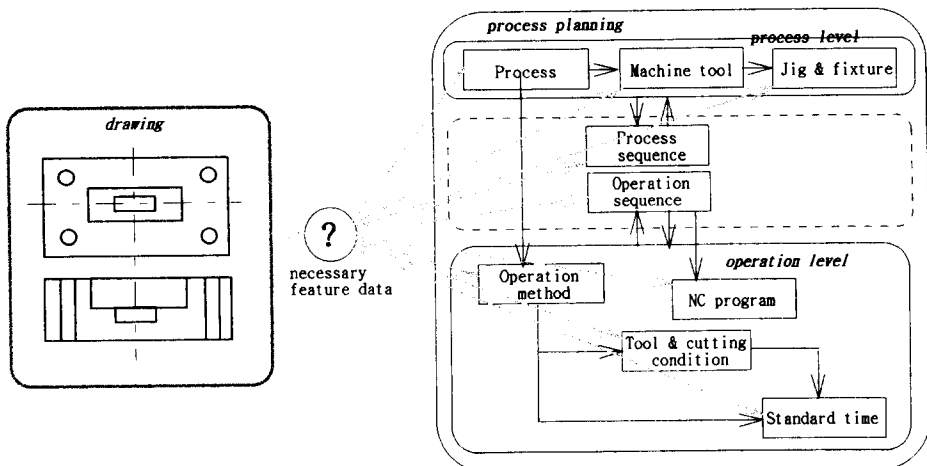


Fig. 1 Analysis of necessary data for process planning

process plan item \ necessary data	process	machine tool	jig & fixture	process sequence	operation method	tool & cutting condition	standard time	operation sequence	NC program
material		0				0			
hardness		0				0			
raw material shape	0	0	0						
part size		0	0				0		
feature type	0		0		0	0	0		0
topology	0			0	0	0	0	0	0
position			0					0	0
feature size			0		0	0	0		0
geometric tolerance	0	0			0	0	0		
reference feature				0				0	
dimension tolerance	0	0			0	0	0		
roughness	0	0			0	0	0		

Fig. 2 An analysis result of necessary data for process plan items

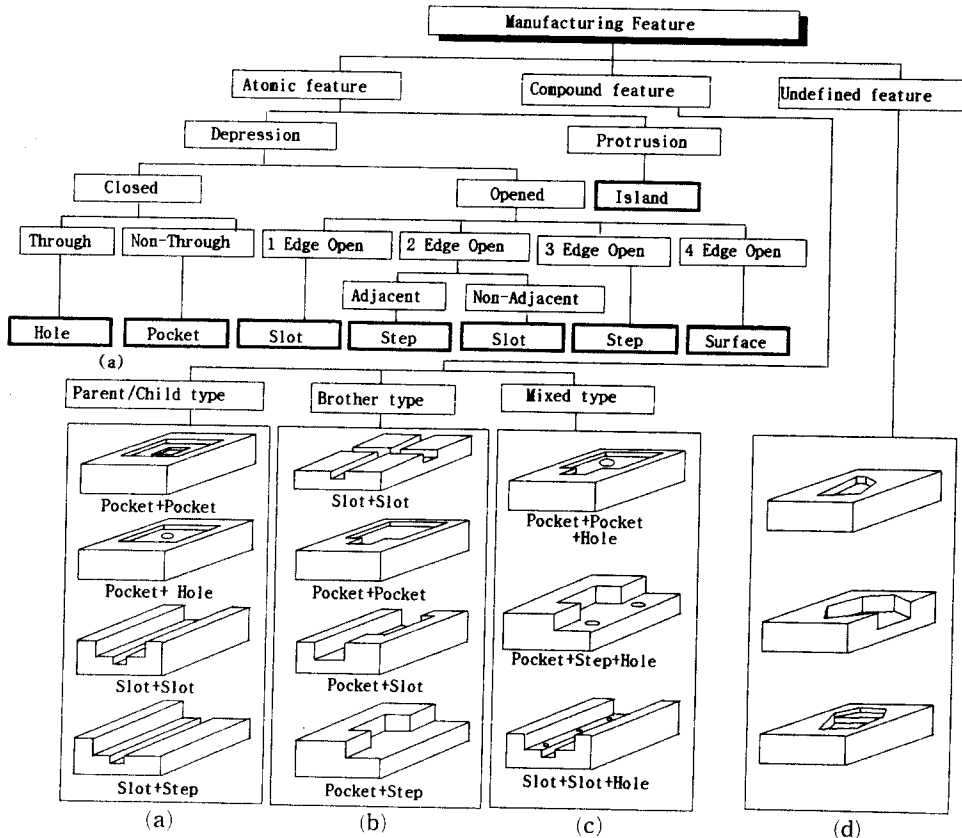


Fig. 3 Classification of features

이더로 분류할 수 있다. 따라서 특징형상 데이터를 데이터 특성에 따라 부품서술 데이터, 기하학적 데이터, 가공기술적 데이터로 분류하였다.

3.1 부품서술 데이터

부품서술 데이터는 부품의 특성을 나타내는 데이터로써, Fig. 2의 데이터 중 부품명, 도면번호, 재질, 경도, 소재 형상, 부품크기 등을 포함한다. 소재 형상은 환봉, 육각봉, 사각봉, 판재, 주물에 의하여 형성된 형상으로 분류하였다. 이 중 부품명과 도면번호는 관리정보 또는 과거에 계획된 정보 검색에 이용되며, 재질, 경도, 소재 형상, 부품크기 등은 공정설계 항목 결정에 이용될 수 있다.

3.2 기하학적 데이터

기하학적 데이터는 Fig. 2의 데이터 중 특징형상의 종류, 위상관계, 특징형상의 위치 및 크기 등을 포함한다. 절삭가공의 대표적 형태인 공작기계 부품과 금형의 설계도면에 나타나 있는 가공부위 형태를 분석한 결과, 자주 나타나는 단순한 형태가 약 70%, 단순한 형태들이 조합된 복합 형태가 약 25%, 그리고 정의하기 힘든 복잡한 형태가 약 5% 정도로 나타났다. 본 연구에서는 이들을 각각 기본 특징형상, 기타 특징형상으로 분류하였다. 기본 특징형상은 Fig. 3의 (a)와 같이 함몰/돌출 여부, 개방/폐쇄 여부, 관통/비관통 여부, 공구 진입모서리의 수, 모서리의 인접/비인접 여부에 따라 Pocket, Hole, Step, Slot, Island, Surface 등 6종류로 분류하였다. 이 기본 특징형상들은 Pocket 14개, Hole 12개, Step 10개, Slot 8개, Island 4개, Surface 2개 등의 총 50개로 세분화하여⁽¹²⁾ 각 기본 특징형상별 크기 인자를 결정하였다. 이 중 Pocket의 세부 형상 및 크기 인자에 대한 예를 Fig. 4와 같이 정리하였다. 복합 특징형상은 기본 특징형상간의 위상관계로 표현하였으며, 위상관계는 Parent/Child형, Brother형, Parent/Child형과 Brother형의 혼합형의 3가지 형으로 분류하였다. Parent/Child형은 Fig. 3의 (b)와 같이 기본 특징형상이 상하로 결합된 형태이며, Brother형은 Fig. 3의 (c)와 같이 전후좌우로 결합된 형태이다. Parent/Child형과 Brother형의 혼합형은 Fig. 3의 (d)와 같이 Parent/Child형과 Brother형이 동시에 나타난 형태이다. 이 위상관계는 공정순서 및 작업순서 결정시에 선행관계로 작용한다. 기타 특징형상은

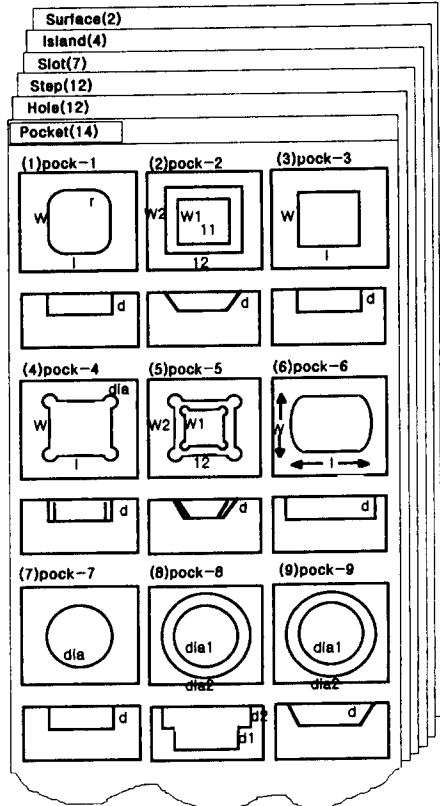


Fig. 4 Shapes and size parameters of pocket-1

attribute	description
feature_id	feature index no.
feature_type	atomic, compound, undefined feature
feature_name	atomic or undefined feature name
topology_type	parent/child, brother, mixed type
topology_feat_id	feature_id related topology (parent or brother feature)
position_x	x coordinate
position_y	y coordinate
position_z	z coordinate
size_1	width
:	:
size_6	height

Fig. 5 Attributes of geometric data in the feature data model

기본 특징형상으로 표현할 수 없는 복잡한 형태로 Fig. 3의 (e)와 같은 형태이다. 기타 특징형상에 대한 공정설계는 대화형으로 수행한다.

특징형상의 기하학적 데이터에 포함되는 속성 (attribute)을 Fig. 5와 같이 정의하였다. 즉, 기하학적 데이터는 특징형상별로 위치 및 크기 등의 데이터를 포함하고 있다. 이와 같이 가공부위의 형상, 위치, 크기 등으로 표현된 데이터는 공정설계 수행시, 단순한 형태인 기본 특징형상뿐만 아니라 복합 특징형상에 대해서도 위상관계에 의하여 가공 부위에 대한 기하학적 정보를 명확히 제시한다.

3.3 가공기술적 데이터

가공기술적 데이터는 Fig. 2의 데이터중 치수공차(dimension tolerance), 거칠기(roughness), 기하공차(geometric tolerance) 및 기준면 등을 포함한다. 치수공차와 거칠기는 한 특징형상의 공차를 표현하며, 기하공차는 한 특징형상내의 공차를 표현하거나 혹은 기준면으로 두 특징형상간의 가공 기준 관계를 표현한다. 기하공차는 기준면의 유무에 따라, 기준면이 필요 없는 공차(진직도, 평면도, 진원도, 원통도), 기준면이 있어도 되고 없어도 되는 공차(선의 윤곽도, 면의 윤곽도), 기준면이 반드시 필요한 공차(평행도, 직각도, 경사도, 위치도, 동축도, 동심도, 대칭도) 등으로 분류한다.

가공기술적 데이터에 포함되는 속성을 Fig. 6과 같이 정의하였다. 즉, 특징형상별로 기하공차, 기준면, 치수공차, 거칠기 등의 데이터를 포함하고 있다. 이렇게 정의된 가공 기술적 데이터는 가공시 필요한 공차뿐만 아니라 공정순서 및 작업순서 결정시 선행관계로 이용할 수 있는 기준면에 관한 데이터도 제공한다.

<i>attribute</i>	<i>description</i>
feature_id	feature index
geometric_tol	geometric tolerance type
geo_tol_val	geometric tolerance value
geo_tol_reference	reference feature_id by geometric tolerance
dim_tol value	dimension tolerance value
no_of_roughness	no. of roughness symbol

Fig. 6 Attributes of machining data in the feature data model

4. 밀링 공정설계에 특징형상 데이터의 적용

4.1 밀링 공정설계 모듈의 개요

CAD/CAPP/CAM 통합 시스템 구축을 위해서, 특징형상 데이터를 이용하여 개발한 밀링 공정설계 모듈 (Mill-CAPP)에서의 정보흐름을 설명한다. 즉, Mill-CAPP이 주변의 CAD (I/MDS) 모듈, (13) IIM (Item information manager) 모듈, 공정분석 모듈, 최적 절삭조건 모듈, CAM (I/MILL) 모듈 (14)과 연계되는 일련의 과정을 Fig. 7에 정리하였다. (12)

I/MDS는 상용화된 설계 소프트웨어로 도면을 작성 또는 수정하는 역할을 하며, IIM 모듈은 공정설계를 수행하기 전에 부품별로 부품서술 데이터를 결정하고, Mill-CAPP을 기동하는 메인 메뉴 역할을 한다. 공정분석 모듈은 부품의 공정, 공정순서, 기계 등을 결정하며, 최적 절삭조건 모듈은 Mill-CAPP에서 결정한 작업내용별로 특징형상 데이터와 절삭 데이터를 이용하여 공구, 홀더, 절삭조건을 결정한다. I/MILL은 상용화된 NC 소프트웨어로 Mill-CAPP 및 최적 절삭조건 모듈에서 결

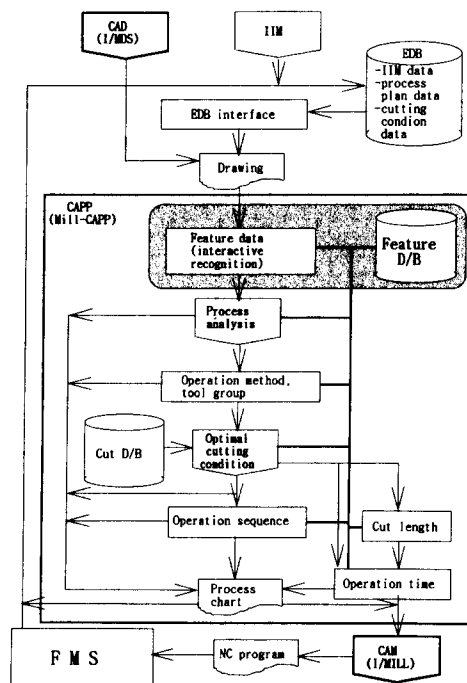


Fig. 7 Information flow in the CAD/CAPP/CAM integration system

정한 기계, 작업내용, 공구, 절삭조건 등을 이용하여 NC 프로그램을 생성한다. 그리고 Mill-CAPP은 IIM의 메뉴 및 설계 도면으로부터 특징형상 데이터를 추출한 후, 공정분석 모듈, 최적 절삭조건 모듈 및 I/MILL 모듈과의 연계를 통하여 공정, 기계, 치공구, 공정순서, 작업방법, 공구 및 절삭조건, 공수, 작업순서, NC 프로그램 등을 생성한다. Mill-CAPP 및 I/MILL과의 연계를 통하여 생성된 NC 프로그램은 FMS와 통합/운용된다.

이 밀링 공정설계 시스템은, Intergraph workstation 환경에서 GUI(graphic user interface) 구현을 위한 I/FORMS⁽¹⁵⁾와 데이터 관리를 위한 ORACLE RDBMS⁽¹⁶⁾를 이용하여 C와 PPL(parametric programming language)⁽¹⁷⁾로 개발되었다.

4.2 적용 사례

본 연구에서 제시한 특징형상 데이터를 이용한 사례연구로, 공작기계 부품 지지대(support element)를 선정하여 공정설계를 수행하였다. Fig. 8에는 지지대의 설계도면이 나타나 있다. 설계도면의 A부분은 2개의 Pocket-1과 2개의 Pocket-8로 구성되어 있고, B부분은 2개의 Step-1으로 구성되어 있고, C부분은 Pocket-1이 존재한다. A부분의 특징형상들은 큰 Pocket-1과 Pocket-8이 Parent/

Child 형인 동시에 큰 Pocket-1과 작은 Pocket-1이 Brother 형을 이루는 Parent/Child 형과 Brother 형의 혼합형이다. B부분의 특징형상들은 Step-1 두개가 상하관계를 이루는 Parent/Child 형이며, C는 A부분의 큰 pocket-1을 기준면으로 한다. 이 설계 도면을 대상으로 2절과 3절에서 정의한 특징형상 데이터를 Fig. 9에 정리하였다. 즉, Fig. 9의 (a)에는 기하학적 데이터, Fig. 9의 (b)에는 가공 기술적 데이터, Fig. 9의 (c)에는 부품 서술 데이터가 나타나 있다. 기하학적 데이터와 가공 기술적 데이터는 특징형상별로 나타나 있다.

Fig. 9의 특징형상 데이터를 이용하여 공정분석 모듈을 수행한 결과, 입재, 상면가공, 검사 등의 순서로 공정이 결정되었다. 이중 절삭가공에 해당되는 상면가공 공정(top face processing)의 가공 기계 모델로서 TMV-2, 치공구로서 Screw Jack, Fixed Block을 결정하였다. 그리고 밀링 공정설계 모듈(Mill-CAPP)에서 상면 가공 공정에 대하여 특징형상별로 작업방법을 결정한 후, 각 작업방법별로 최적 절삭조건 모듈과의 연계를 통하여 공구, 홀더, 절삭조건, 공수, 작업순서를 결정한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이 결과중 기계, 공구, 절삭조건 정보는 I/MILL에 전달되어 NC 프로그램을 생성하였다.

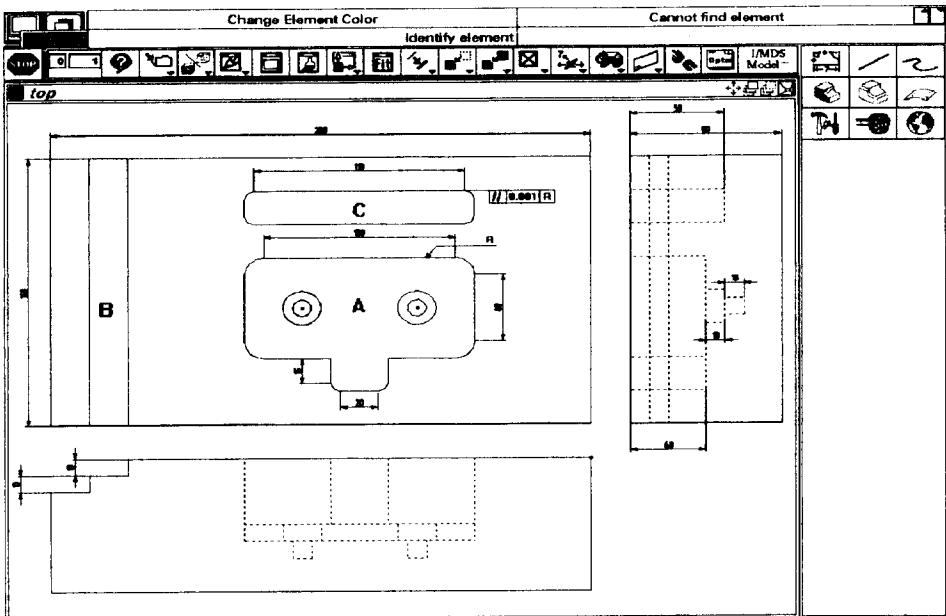


Fig. 8 A drawing of a support element for top face processing

feature_id	feature_name	topology	topology_feat_id	x	y	size1	size2	size3	size4
1	pock-1			117.97	76.30	10	100	40	40
2	pock-1	brother	1	117.97	31.30	5	20	10	40
3	pock-8	parent	1	97.97	76.30	20	10	10	10
4	pock-8	parent	1	137.97	76.30	20	10	10	10
5	pock-1			117.97	141.30	5	110	15	50
6	step-1			37.97	86.30	160	20	10	
7	step-1	brother	5	17.97	86.30	160	20	10	

(a) Geometric data

feature_id	geometric_tol	geo_tol_val	geo_tol_reference	dimension_tol_value	no_of_roughness	part_id	part_name	draw_no	material	hardness	raw_mat_shape	part_wid	part_len	part_height
1	parallelism	0.001				B144-60002-00	Support Element	144-6002-0A	AC2A	70 - 90	Plate	200	160	100
2														
3														
4	parallelism	0.001	1											
5				0.002										
6				0.002										
7														

(b) Machining data

(c) Part description data

Fig. 9 Feature data of a support element

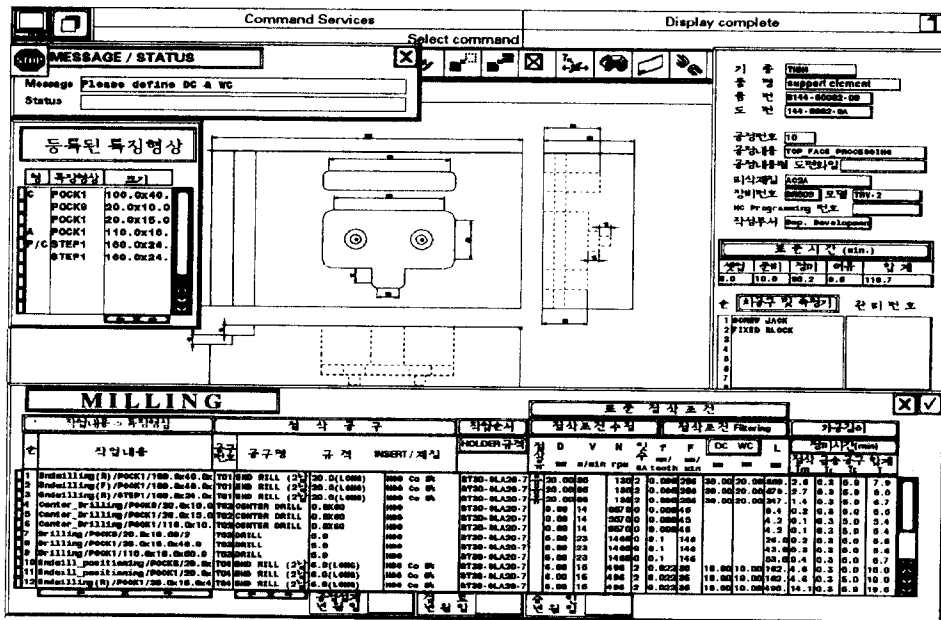


Fig. 10 A result of process planning on the sample part

Mill-CAPP 시스템을 이용하여 사례도면을 대상으로 공정설계를 수행한 결과가 숙련 공정설계자가 수작업한 결과와 90% 정도 일치하였고, 공정설계 소요시간을 비교하면 숙련 공정설계자는 25분 정도, Mill-CAPP은 10분 정도 소요되었다. 본 연구

에서 제시한 특징형상 데이터는 기본 특징형상에 관한 데이터뿐만 아니라 그 들간의 위상관계를 이용한 복합 특징형상에 관한 데이터도 포함하고 있으므로, 도면에 나타난 95%정도(사례도면은 100%)의 가공부위에 대하여 공정, 공정순서, 기

계, 공구는 물론 치공구, 작업방법, 절삭조건, 공수, 작업순서, NC 프로그램 생성 등의 정밀한 공정설계 항목 결정이 가능했다.

5. 결 론

본 연구에서는 밀링 공정설계 수행에 이용될 수 있는 필요 데이터를 조사/분석하여, 데이터를 체계적으로 분류/정의한 특징형상 데이터 모델을 제안하였다. 그 연구내용 및 연구성과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 공정설계의 각 항목(공정, 기계, 치공구, 공정순서, 작업방법, 공구 및 절삭조건, 공수, 작업순서, NC 프로그램)별로 필요한 특징형상 데이터를 조사/분석하였다.

(2) 특징형상 데이터를 부품서술 데이터, 기하학적 데이터, 가공기술적 데이터로 분류/정의하였다.

(3) 특징형상 데이터 모델은 기본 특징형상간의 위상관계를 이용한 특징형상에 관한 데이터도 포함하고 있으므로, 도면에 나타난 95% 정도의 가공부위에 대하여 자동으로 공정설계 항목 수행이 가능했다. 또한 숙련 공정설계자와 거의 일치하는 결과를 숙련 공정설계자보다 빠른 시간에 제공하였다.

본 연구에서 제안한 특징형상 데이터 모델은 밀링 공정설계 시스템에 유용하게 이용될 것이나, 이 시스템의 실용화를 위해서는 설계 데이터로부터 특징형상 데이터를 자동으로 인식하는 연구를 향후 과제로 수행해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Butterfield, W. R., Green, M. K., Scott, D. C. and Stocker, W. J., 1985, *Part Features for Process Planning*, CAM-I Inc.
- (2) Gindy, N. N. Z., 1989, "A Hierarchical Structure for Form Features," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 12.
- (3) Gandhi, A. and Myklebust, A., 1989, *A Natural Language Approach to Feature Based Modelling*, Mobil Reserach and Development Corporation.
- (4) Lauwers, B. and Kruth, J. P., 1994, "Computer Aided Process Planning for EDM Operations," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 5.
- (5) Nau, D. S. and Luce, M., 1987, "Knowledge Representation and Reasoning Techniques for Process Planning SIPS to do Tool Selection," *19th CIRP International Seminar on Manufacturing System*.
- (6) Huang, S. H. and Zhang, H. C., 1994, "A Neural-Expert Hybrid Knowledge Acquisition Model for Process Planning," *AUTOFACT Conference*.
- (7) 1992, *ICEMPART White Paper*, Alex Fuchs Control Data Frankfurt.
- (8) Delbressine, F. L. M., de Groot, R. and van der Wolf, A. C. H., 1993, "On the Automatic Generation of Set-Ups Given a Feature-Based Design Representation," *Annals of the CIRP*, Vol. 42/1.
- (9) 노형민, 이진환, 1992, "사출금형의 CAD/CAPP 통합을 위한 가공형상 데이터베이스," 대한기계학회논문집, 제16권, 제2호, pp. 259~266.
- (10) Rho, H. M., Sheen, D., and Lee, C. S., 1991, "A Description Scheme of Mold Dies by Using Specific Part Features," *Manufacturing Systems*, Vol. 20, No. 4.
- (11) 이충수, 노형민, 1994, "특징형상을 이용한 사출금형 표준 가공공수 계산," 대한기계학회논문집, 제18권, 제1호, pp. 223~231.
- (12) 노형민 외 1995, "지적공정계획기술 개발에 관한 연구-밀링 공정 모듈 개발(Ⅲ)," 한국과학기술연구원, 통일중공업.
- (13) 1992, "Intergraph/Mechanical Drawing System(I/MDS) Operator Training Guide," Intergraph.
- (14) 1992, "Intergraph/2.5-Axis Milling Option(I/MILL) Reference Manual," Intergraph.
- (15) 1992, "Intergraph User Interface Development Toolkit(I/FORMS) Reference Manual," Intergraph.
- (16) 1991, "SQL Language Reference Manual," ORACLE.
- (17) 1991, "Intergraph Parametric Programming Language (PPL) User's Guide," Intergraph.