한국 CAD/CAM 학회 논문집
제9권 제2호 2004년 6월 pp. 175-182

학술논문

STEP AP224를 이용한 특징 형상의 가공 순서 계획

강 무 진*

Sequence Planning of Machining Features using STEP AP224

Kang, M.J.*

ABSTRACT

As a bridge between design and manufacturing, process planning is to generate a sequenced set of instructions to manufacture the specified part. Automatic interpretation of manufacturing information incorporated in the design documentation such as CAD file has been a knotty subject for manufacturing engineers since no current data exchange format for product data provides a perfect interface between heterogeneous systems. The recent neutral data exchange format STEP, standard for the exchange of product model data, includes not only geometry but also technical and managerial information. STEP AP(Application Protocol) 224 is specifically dedicated to the mechanical product definition for process planning using machining features. Given a design information in STEP AP 224 format, process planning can be made without human intervention. This paper describes a method to determine the sequence of machining features by using the machining features and the manufacturing information expressed in STEP AP224.

Key words : STEP, 가공 순서 계획, 가공 특징 형상, 특징 형상 복원, 공차

1. 서 론

전통적으로 설계와 제조 사이의 설계 정보 교환은 도면을 통해 이루어져 왔지만, 근래에는 CAD시스템을 이용한 파일 형태의 교환이 선호되는 추세이다. 하지만 여전히 설계 단계에서 명시된 여러 설계 정보들은 이종 시스템에서 자동으로 해독되지 않는 것이 많다. 예를 들어, 설계자는 원래의 소재면을 그대로 남겨둘 부분과 절삭 공정을 통하여 정밀도를 갖는 가공면을 미리 명시하는 데, 이런 정밀도와 표면 거칠기 및 공차 정보는 대부분의 CAD시스템에서 단순한 텍스트 형태의 속성으로 정의된다. 이러한 형태의 정보는 타 시스템에서 자동으로 해독되지 못하기 때문에 다시 작업자에 의해서 해석되고 재입력되어야 한다. 공정 계획에서 가공 공정 및 순서를 결정하기 위하여 필요한 생산 정보들이 작업자의 개입 없이 전달되지 못하기 때문에 설계와 제조 부분의 가교 역할을 하는 공정 계획의 자동화가 진전되지 못하였고, 이것은 컴퓨터 통합 생산(CIM:Computer Integrated Manufacturing)을 구현하는 데 있어서의 결정적인 병목으로 남아 있는 실정이다[1].

제품 정보 교환을 위한 표준으로 제정된 국제 표준 ISO-10303 STEP(Standard for the Exchange of Product model data)은 제품의 형상 정보 뿐만 아니라 생산 및 관리 정보 일부까지도 수용하여 이종 시스템간의 정보 교환을 가능하게 할 수단으로 학계 및 실제 생산 현장에서 점차 주목을 받고 있다. STEP AP 224 (Mechanical product definition for process planning using machining features)는 특징 형상을 이용하여 기계 제품 공정 계획 정보를 정의하는 응용 프로토콜(AP: Application Protocol)로서 STEP 통합 자원 Part 47(Integrated generic resources: Shape variation tolerances)에 기초한 공차 정보를 포함하고 있다[2,3].

본 논문에서는 중립적인 제품 정보 교환 표준인 STEP AP224의 가공 특징 형상 정보 및 생산 정보를 이용하여 특징 형상의 속성과 상호간의 위치 관계 및 공차 정보를 해독함으로써 가공 특징 형상의 가공 순서를 결정하는 방법을 제시하여 공정 계획 자동화에 기여하고자 한다.

*성균관대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2004. 01. 19
- 심사완료일: 2004. 01. 29

2. STEP을 이용한 가공 특징 형상 처리

2.1 가공 특징 형상의 표현

가공 특징 형상은 가공 공정을 통하여 구현될 제조 공학적으로 특정한 의미를 갖는 형상이다. 즉, 포켓(pocket)이나 슬롯(slot), 구멍(hole) 등과 같이 가공 공정에 의해 원자재로부터 제거될 형상으로, 제조 공정의 관점에서 특성을 지워 분류할 수 있는 공학적 기본 요소이다[4]. STEP AP224에서 특징 형상은 Fig. 1에서 보는 것처럼 characterized_object로 정의된다. 이 characterized_object는 property_definition, shape_aspect 등과 관계 속에서 특징 형상의 전체적인 속성이 규정된다(Fig. 2). 이러한 관련성은 STEP AP224의 실제 물리적인 파일인 Fig. 3의 #335, #336, #337처럼 표현된다. 즉, characterized_object의 id가 property_definition과 product_ definition_shape의 파라미터로 주어짐으로써, Fig. 2의 관계를 표현하고 있다. 그리고, 특징 형상은 Fig. 1에서 보는 것처럼 pocket, round_hole, slot, step등의 subtype로 분류된다.

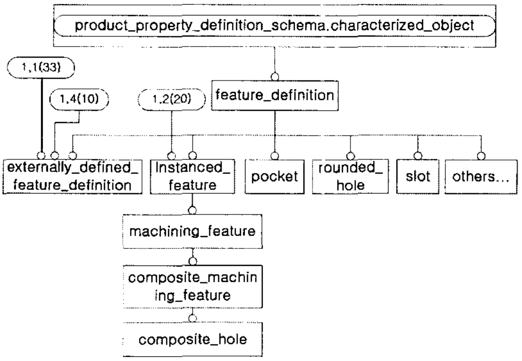


Fig. 1. EXPRESS-G diagram for machining feature[2].

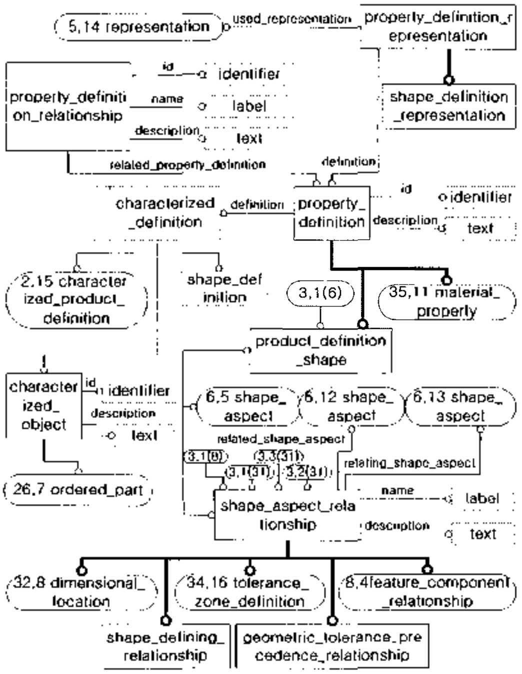


Fig. 2. EXPRESS-G diagram for product definition[2].

STEP AP 224에서의 특징 형상은 속성으로만 정의된다. Pocket은 길이, 폭, 깊이, corner radius, bottom radius등의 속성값을, round_hole은 지름, 깊이 등의 속성값을 지정함으로써 기본적인 형상이 정의된다. 특징 형상이 부품의 어떤 면과 관련있는 지를 표현하기 위하여, Fig. 3의 #342번 행처럼 shape_ representation을 사용하여 특징 형상의 방향 및 특징 형상이 부품과 관련되는 면의 id를 표현한다. shape_representation의 2번째 파라미터인 #323은 advanced_face의 id이며, #343의 shpae_definition_represenatation을 사용하여, shape_representation과 property_definition의 관계를 나타냄으로써 특징형상과 관련되는 면과 방향이 정의된다. 또한, pocket, hole등의 bottom condition, slot의 end condition등의 속성은 shape_aspect와 관련이

```
#335=(characterized_object('','')feature_definition()instanc
ed_feature()machining_feature()round_hole()shape_aspect
('','',#334,.T.));
#336=property_definition('','',#335);
#337=product_definition_shape('','',#335);
#338=cartesian_point('',(5.000, 5.000, 10.000));
#339=direction('',(0.0,0.0,-1.0));
#340=direction('',(-1.0,0.0,0.0));
#341=axis2_placement_3d('orientation',#338,#339,#340);
#342=shape_representation('',(#341,#323),#137);
#343=shape_definition_representation(#336,#342);
#344=shape_representation_with_parameters('',(#341),#1
37);
#345=shape_definition_representation(#336,#344);
......
#352=(length_measure_with_unit()measure_representation
_item()measure_with_unit(length_measure(1.5),#131)qualit
ied_representation_item((#349,#350,#351))representation
_item('diameter'));
#353=shape_representation_with_parameters('',(#341,#35
2),#137);
......
#369=feature_component_definition('','');
#370=product_definition_shape('','',#369);
#371=hole_bottom('bottom condition','through',#370,.F.);
#372=shape_aspect('','bottom condition
occurrence',#337,.T.);
#373=feature_component_relationship('','hole bottom
usage',#371,#372);
```

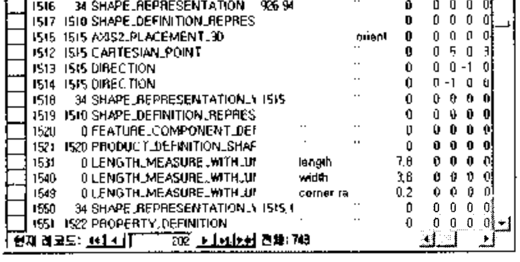
Fig. 3. Example of a physical STEP AP 224 file.

있다. Fig. 3에서 처럼 특징형상의 component로서 #371의 hole_bottom이 정의되고, #372의 shape_aspect는 characterized_ object와 관련있는 product_definition_shape의 id를 파라미터로 가짐으로써 특징형상과의 관계를 표현한다. 이 shape_aspect와 hole_bottom은 #373의 feature_component_relationship에 파라미터로 주어져 관련성이 정의되고, 전체적으로 특징 형상의 bottom condition이 정의되는 것이다.

2.2 가공 특징 형상의 복원

특징 형상의 가공 방법, 가공 순서, 그리고 궁극적으로 공구 경로 등을 생성하기 위해서는 특징 형상과 관련된 공차 정보의 해독과 특징 형상의 3차원 모델로의 복원이 필요하다. 이 공차 정보는 특징 형상과 관련된 면의 속성 정보를 분석하여 추출해야 한다. 본 연구에서는 STEP파일에 정의된 많은 정보를 다루기 위해 Spooner와 Hardwick이 제안한 방법을 이용하였다[5]. 즉, STEP에 표현된 기하 형상(geometry) 정보 및 특징 형상(feature) 정보를 일단 데이터베이스에 저장 후, 그것의 형상 및 참조관계 분석하여 특징 형상 정보를 추출하고 복원한다(Fig. 4). 특징 형상을 저장하는 데이터베이스는 형상 정보를 저장하는 part table과 공차 및 특징 형상 정보를 저장하는 reference table로 구성된다[6].

reference table의 특징형상이 참조하는 면(featured face)의 자세한 정보는 part table에서 찾도록 해 자료의 중복을 피했다. 솔리드 모델의 형상 정보를 저장하는 CSolid_data class의 자료 구조는 Fig. 5와 같이 tree의 전위 순회(preorder traversal)방식이 이용된다. 이러한 tree구조의 전위 순회 방식으로 솔리드 정보를 저장하는 것은 솔리드의 위상(topology) 정보를 저장하기 위한 것이다. 모든 엔터티의 상세 정보, 예를 들면 edge의 id 및 종류(line, circle 등), 시작점의 좌표,



Self	Pare	Type	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Val	Val	x	y	z
	1508	CHARACTERIZED_OBJECT		POCKET		0	0	0	0	0
1510	1509	PROPERTY_DEFINITION		..		0	0	0	0	0
1511	1509	PRODUCT_DEFINITION_SHAF		..		0	0	0	0	0
1516	34	SHAPE_REPRESENTATION	926 94		..	0	0	0	0	0
1517	1510	SHAPE_DEFINITION_REPRES				0	0	0	0	0
1515	1515	AXIS2_PLACEMENT_3D			orient	0	0	0	0	0
1512	1515	CARTESIAN_POINT			..	0	0	5	0	3
1513	1515	DIRECTION			..	0	0	0	-1	0
1514	1515	DIRECTION			..	0	0	-1	0	0
1518	34	SHAPE_REPRESENTATION_\	1515		..	0	0	0	0	0
1519	1510	SHAPE_DEFINITION_REPRES				0	0	0	0	0
1520	0	FEATURE_COMPONENT_DEF		..	..	0	0	0	0	0
1521	1520	PRODUCT_DEFINITION_SHAF		.	..	0	0	0	0	0
1531	0	LENGTH_MEASURE_WITH_UI		length		7.8	0	0	0	0
1540	0	LENGTH_MEASURE_WITH_UI		width		3.8	0	0	0	0
1549	0	LENGTH_MEASURE_WITH_UI		corner ra		0.2	0	0	0	0
1550	34	SHAPE_REPRESENTATION_\	1515,1		..	0	0	0	0	0
1551	1522	PROPERTY_DEFINITION		.	..	0	0	0	0	0

현재 레코드: 202 전체: 743

Fig. 4. Database for restoration of machining features.

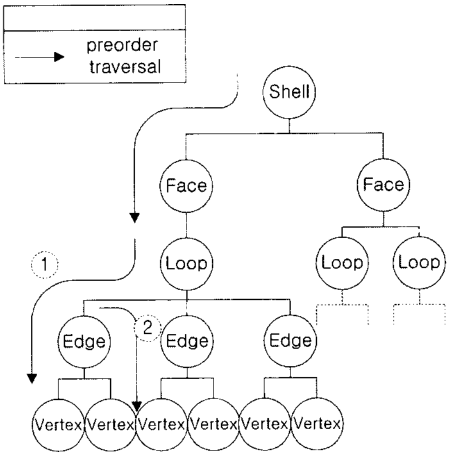


Fig. 5. Data structure for solid model restoration.

vertex의 id 및 좌표 등을 각 node에 저장하면 자료가 중복 저장되게 되므로, CSolid_data class와는 별도로 위상 정보만을 기억하는 CEntityTree class를 정의하여, 엔터티 id와 엔터티의 방향 만을 기억하고 자세한 정보는 CSolid_data class를 참조하는 것이다. 엔터티의 방향은 STEP에서 advanced_face, face_bound, oriented_edge등의 속성으로 주어지는 것으로, 참(true)과 거짓(false)값 만을 가질 수 있다. edge를 예로 들어 설명한다면 다음과 같다. 솔리드 모델에서 하나의 edge는 두개의 면에 의해 공유되는 데, 이 edge의 시작점, 끝점, 형상, 위치 좌표 등과 같은 상세 정보를 한번만 정의하고 각 면에서 참조할 때, 그 면에 속한 edge의 방향이 원래 edge의 방향과 일치하면 참(true), 일치하지 않으면 거짓(false) 값을 부여함으로써 CEntityTree class에서 방향을 정의한다.

3. 특징 형상의 가공 방법 결정

3.1 공구 진입 방향의 결정

특징 형상의 가공 진입면을 결정하고 특징 형상의 가공 선후관계를 결정하기 위해 Fig. 6처럼 특징형상의 면을 part face와 non-part face로 구분할 필요가 있다. STEP파일로부터 특징 형상을 복원한 후, 부품과 특징형상의 면을 분석하여 part face는 특징 형상의 면 중 부품과 만나는 면이고 non-part face는 부품과 만나지 않고 새롭게 생긴 면으로 정의한다[7,8].

이론적으로는 특징 형상의 면 중에 모든 non-part face로 공구가 진입할 수는 있지만, 실제로는 공구의 반경까지 고려해야 한다. 즉, Fig. 6과 같은 슬롯을 가공할 때, 공구의 방향을 ±x축 방향으로 설정하여 가

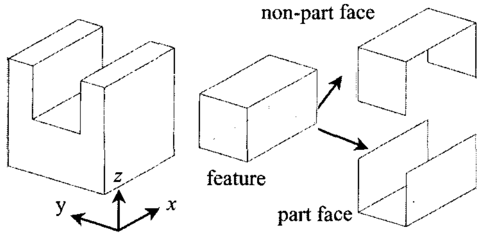


Fig. 6. Part face and non-part face.

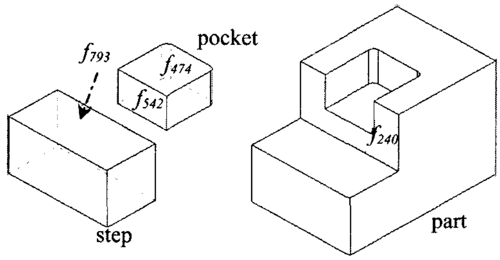


Fig. 7. Composite machining features in contact.

공하려면 공구의 직경이 0(zero)이어야 한다. 이것은 실질적으로 불가능하므로 공구의 지름이 0(zero)인 non-part face는 공구 진입면 후보 목록에서 제외된다. 반면에 -z 방향의 공구 진입은 가능하므로, 이때 요구되는 직경 중 최소값을 취하고 특징 형상의 바닥면을 분석하여 flat end mill과 ball end mill 중 어느 것이 사용될 지 결정한다[9].

3.2 복합 특징 형상의 가공 선행 관계 해석

특징 형상의 면 분석이 끝나면, 특징 형상들 사이에 서로 만나는 면이 있는지를 분석하여 2개 이상의 특징 형상이 복합되어 있으면 특징 형상의 가공 선후 관계를 결정해야 한다. Fig. 7과 같이 스텝(step)과 포켓을 가지고 있는 부품에서 포켓은 스텝을 먼저 가공한 후 가공하는게 바람직하다. 스텝의 면 f_{793}은 부품의 면 f_{240}과 만나는 part face이며, 이와 인접한 특징형상 포켓의 면 f_{542}는 non-part face이고 스텝의 면 f_{793}과 접촉하고 있다. 복합 특징 형상의 가공 선후 관계(precedence relationship)는 한 특징 형상(포켓)의 non-part face(f_{542})가 다른 특징 형상(스텝)의 part face(f_{793})와 만나면, 자신을 가공하기 전에 part face를 포함하는 특징 형상(스텝)을 먼저 가공해야 한다는 것이다[10].

한편, Fig. 8에서 처럼 슬롯과 구멍이 교차하는 경우 가공 순서에 제약을 주는 것은 없다. 하지만, 슬롯을 먼저 가공하면 두 구멍의 동축도(concentricity)를 맞추기가 어려울 수 있기 때문에 구멍을 먼저 가공하

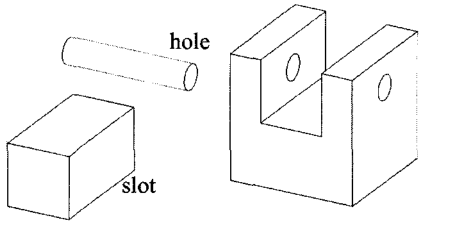


Fig. 8. Intersecting composite machining features.

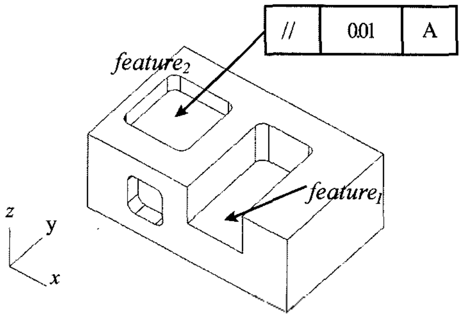


Fig. 9. Consideration of geometric tolerance.

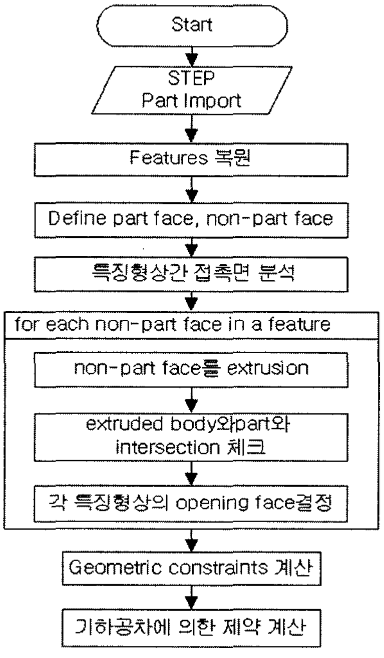


Fig. 10. Procedure to determine precedence relationship of machining features.

고 슬롯을 나중에 가공하는 것이 낫다.

또한, Fig. 9처럼 기하 공차의 기준면이 있을 경우, 공차가 적용된 면과 관계된 특징 형상($feature_2$)보다 기준면과 관계된 특징형상($feature_1$)을 먼저 가공해야 한다[8]. 이미 앞에서 분석한 특징형상과 부품간의 면

관계를 이용하여 한 특징 형상의 part face에 기하 공차가 적용되어 있고 기준면(datum)이 있을 경우, 그 기준면을 포함하는 특징 형상을 검색하여 가공 선행 관계를 갱신한다.

이상과 같이 geometric constraints와 기하공차 등의 특징 형상 간 제약 조건을 고려하여 복합 특징 형상의 가공 선행 관계를 결정하는 과정을 정리하면 Fig. 10과 같다.

3.3 공차 정보의 분석

가공 공정을 선정하는 데에 있어서 공차와 표면 거칠기 정보는 결정적으로 중요한 의미를 갖는다. STEP AP224에 정의된 공차 정보는 Table 1 및 Table 2와 같은 2개의 class를 이용하여 저장할 수 있다. tolerance class는 부품에 표현된 공차의 종류를 저장하고, 그 각각의 속성들은 tolerance property class에 저장된다. tolerance class의 type 필드에는 기하공차는 geometric_tolerance, 치수공차 중 plus minus공차는 plus_minus_tolerance, 표면 거칠기는 property_definition이라는 키워드를 저장하며, name필드는 각 공차의 유형을 나타내는 것으로 예를 들어 기하 공차 중 원통도 공차는 cylindricity를 저장한다. 그리고 description 필드는 주기 사항이 있을 경우에 입력한다. 각 공차들의 속성은 tolerance property class의 tolerance ID 필드에 자신의 ID를 저장함으로써 공차와 속성의 관련성이 정의된다.

tolerance property class의 ID는 기본키이며 Tol. ID는 tolerance class의 공차 ID이다. 이렇게 함으로써 tolerance property class의 1번은 tolerance class 1번인 geometric_tolerance의 속성임이 정의된다. Type 필드는 공차의 속성을 정의하는 부분으로 STEP에서 사용하는 키워드를 저장한다. tolerance property class의 1번의 type 필드의 값은 measure_with_unit, 2번과 8번은 representation, 그리고 9, 10, 12, 13번은 tolerance_range라는 키워드를 저장한다. magnitude는 공차의 크기값, ref. ID는 공차가 적용된 entity ID 또는 기하 공차의 datum이 되는 entity ID, value값은 magnitude와는 다른 것으로 공차의 속성이 문자열로 주어진 경우의 값을 저장한다. 즉, tolerance class의 1번 기하 공차는 원통도 공차(cylindricity)이며 이 공차의 값은 0.02, 관련된 면은 #803번이다. tolerance class의 2번 표면거칠기의 속성은 tolerance property class의 3번부터 8번까지 6개의 속성이 정의되어야 한다. tolerance class의 3번 plus minus tolerance의 경우 edge에 적용된 경우 관련된 entity가 edge 하나면 되지만, 4번 plus minus tolerance는 두 면(face) 사이의 공차를 의미하며 이때는 관련된 entity는 2개의

Table 1. Tolerance class

ID	Type	Name	desc.
1	Geometric_tolerance	cylindricity	
2	Property_definition	surface_roughness	
3	Plus_minus_tolerance	dimensional...dia.	
4	Plus_minus_tolerance	directed_dim	

Table 2. Tolerance property class

ID	Tol. ID	Type	Name	magn itude	ref.ID	value
1	1	mea.	para. value	0.02		
2	1	repr.			#803	
3	2		Ra	6.3		
4	2		Machining			M
5	2		cut off	0		
6	2		Machining aspect		=	
7	2		clearance	2		
8	2	repr.			#777	
9	3	range.	lower limit	9.95		
10	3	range	upper limit	10.0		
11	3	repr.			#562	M
12	4	range	lower limit	9.90		
13	4	range	upper limit	10.1		=
14	4	repr.			#795	
15	4	repr.			#797	

면 id가 필요하게 된다.

3.4 가공 공정의 결정

이와 같이 STEP AP224에서 불러들인 공차 정보를 공정 및 공구의 설정에 이용하기 위해서는 공정에 관련된 정보가 데이터베이스에 저장되어 있어야 한다. Table 3~Table 5는 부품의 형상에 따라 가공 가능한 공정 종류를 저장하는 Machining_Shape Table과, 표면 거칠기에 따라서 하나 이상의 공정이 필요한 경우에 각 공정의 Routing정보를 저장하는 Process_Routing Table, 공정에 따라 얻을 수 있는 기하공차 범위를 저장하는 Geometric_Tolerance_Range Table을 예시적으로 보여준다.

특징형상의 형상에 따라 Machining_Shape Table에서 초기 공정을 선택하고, 특징 형상의 part face중 각각의 면에 대응하는 부품의 면에 공차가 적용되어 있는지 검색하여, 그 중 기하 공차가 적용되었다면 Geometric_Tolerance_Range Table에서 기본 공정을 선택한다. 표면 거칠기가 적용되어 있지 않다면, 초기 공정만으로 가공하고 표면 거칠기 값이 주어져 있다면 Process_Routing Table에서 표면 거칠기에 맞는 Process Routing을 결정한다. 특징형상의 형상이 hole이면, machining table과 geometric_tolerance_range table을 검색하여 drilling, boring, reaming 등과 같은 초기 공정을 선택한다. 선택된 초기 공정으로 시작하며, 주어진 표면 거칠기를 만족하는 공정 라우팅을 process_routing table에서 검색하여, 검색된 레코드의 PID를 가지고 역으로 거슬러 올라가면서 공정의 라우팅을 결정한다.

Table 3. Machining table

ID	Machining	Shape
1	Drilling	Hole
2	Reaming	Hole
3	Boring	Hole
4	Milling	Prismatic

Table 5. Geometric tolerance range table (mm)

ID	Basic process	Geo. tolerance	max	min
1	Turning	Parallelism	0.01	0.02
2	Milling	Parallelism	0.01	0.02
3	Drilling	Parallelism	0.2	0.2
4	Boring	Parallelism	0.005	0.01

4. 특징 형상의 가공 순서 결정

Fig. 11은 특징 형상의 가공 순서를 결정하는 과정을 보여 준다. 우선, 가공 특징 형상 정보는 STEP 파일의 import를 통해 복원되거나, 기존의 특징 형상 인식 시스템으로부터 입력될 수 있다. 분석된 면 정보를 토대로 가공 가능 방향을 분석한다. 각 특징 형상별로 가공 가능 방향은 복수일 수 있으며, 모든 특징 형상을 검색하여 가공 방향이 같은 특징 형상을 그룹화 한다. 여기서 특징 형상은 중복되어 그룹화 되지만, 방향과 특징 형상이 동일한 것은 중복되지 않는다. 이렇게 같은 공구를 사용하는 특징형상을 그룹화 하지 않고 먼저 가공 방향별로 그룹화 하는 이유는 공구 방향이 바뀌는 것은 치공구 및 부품 전체의 setup을 변경해야 하므로, 공구를 교체하는 것 보다 비용과 시간이 많이 든다고 가정하기 때문이다. 그리고, 한번 방향별로 그룹화 된 특징 형상은 목록에서 동일한 방향 내에서 정렬되거나 삭제될 수는 있지만 다른 방향으로 옮겨지지는 않는다. 이렇게 방향별로 특징 형상이 그룹화 되면, 각 방향에 내해 가공 가능한 특징형상이 가장 많은 순으로 방향을 정렬한다. 이 경우 각 방향에 속한 모든 특징형상은 함께 정렬된다. 이렇게 하는 것은, 각 방향별로 특징형상이 1번 이상 중복되어 들어 있기 있으므로 특징 형상을 많이 가공할 수 있는 방향을 먼저 가공한다면 뒤에서는 동일한 특징 형상이 가

Table 4. Process routing table(μm)

ID	PID	GID	Process	Ra Max	Ra Min	IT Max	IT min
1	1	1	Drilling	5	80	11	13
2	1	1	Counterboring	1.25	20	10	11
3	2	1	Rough reaming				
4	3	1	Semi fin. reaming	0.63	1.25	7	8
5	2	1	Finish boring	0.16	0.63	6	9
6	6	3	Rough boring	5	20	12	13

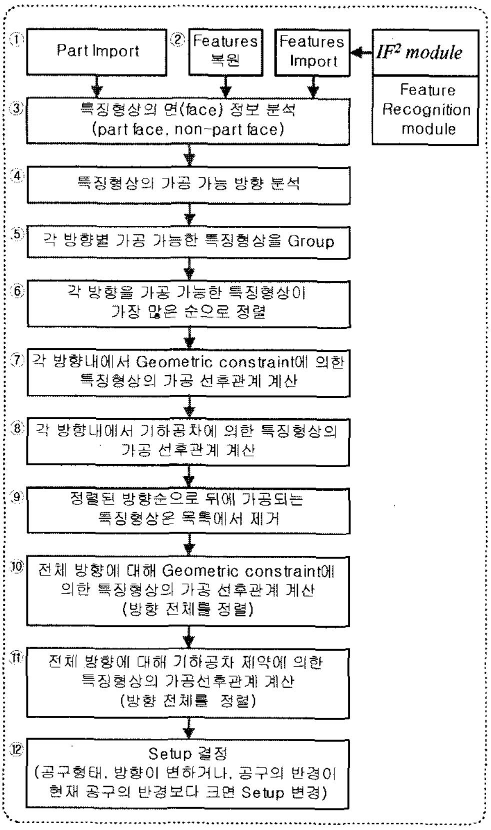


Fig. 11. Procedure to determine machining sequence.

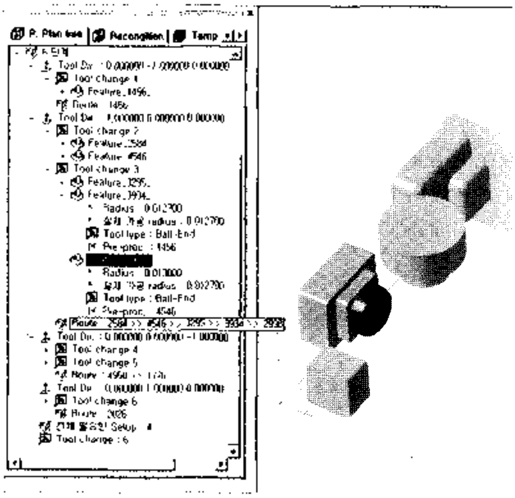


Fig. 12. Example of a generated machining sequence.

공되어 setup이 줄어들 수도 있기 때문이다. 그리고, 전술한 geometric constraints와 기하 공차 제약에 따른 가공 선행 관계를 분석하여 가공 방향별로 정리하면 setup 계획을 포함한 가공 순서 계획이 얻어진다. Fig. 20은 본 논문에서 기술한 방법으로 얻어진 가공 특징 형상의 가공 순서 사례를 보여 주는 것으로, 4개의 가공 방향과 각 방향에서 가공되는 특징 형상 및 공구 교환 계획이 명시되어 있음을 볼 수 있다. 공구 방향 (1,0,0)에서의 특징 형상 가공 순서는 2584→4546→3295→3934→2998 순으로 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

설계로부터 제조에 이르는 일관 생산 시스템의 구현에 장애 요소로 남아 있는 공정 계획의 자동화를 위한 노력의 일환으로, 공정 설계에 필요한 생산 정보를 중립 제품 정보 교환 표준인 STEP을 이용하여 해독함으로써 가공 특징 형상의 가공 순서를 결정하는 방법을 제안하고 그 구현 사례를 소개하였다.

STEP AP 224로부터 가공 특징 형상 정보를 추출하여 3차원 모델로 복원하고, 복원된 특징 형상의 면 정보를 분석하여 공구 진입 방향을 결정하였다. 그리고, STEP AP 224의 공차 및 표면거칠기 정보를 이용하여 각 특징형상에 주어진 공차를 만족시킬 수 있는 공정 라우팅을 결정하였다. 기하공차의 제약 조건과 geometric constraints등을 고려하여 복합 특징 형상의 가공 선후관계를 결정하고, 이 정보를 기반으로 setup수를 최소화할 수 있도록 가공 방향과 가공 공정 등의 공정 인자를 결정하였다.

본 연구에서 제안한 특징 형상 기반의 가공 공정 순서 계획법은 국제 중립 제품 모델 교환 표준 STEP을 이용하므로, 이 표준을 지원하는 임의의 CAD 시스템으로부터 NC 프로그래밍 시스템으로의 연계를 이루는 목적으로 사용될 수 있다. 장기적으로는 STEP-NC(ISO-14649)와의 연계를 통해 보다 완벽한 설계와 생산의 통합을 구현하는 방향의 연구로 발전해야 할 것이다.

참고문헌

1. Kang, M., Han, J. and Moon, J. G., "An approach for interlinking design and process planning," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp. 589-595, 2003.
2. ISO TC184/SC4, "STEP Part 224 : Mechanical product definition for process planning using machining features(ISO 10303-224)," 1996.
3. ISO TC184/SC4, "STEP Part 47 : Integrated generic

resources : Shape variation tolerances (ISO 10303-47)," 1996.
4. 최두선, 신보성, 이호영, "특징형상을 이용한 가공순서 및 셋업 결정에 관한 연구," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 349-352, 1999.
5. Spooner, D. L. and Hardwick, M., "Using views for product data exchange," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 17, No. 5, pp. 58-65, 1997.
6. 김야일, 강무진, "STEP AP 224에 표현된 특징 형상 정보의 솔리드 모델 복원에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 367-372, 2001.
7. Han, J., *3D Geometric Reasoning Algorithms for Feature Recognition*, Ph.D. Dissertation, Computer Science Dept., Univ. of Southern California, Los Angeles, pp. 26-47, 1996.
8. Kim, Y., Wang, E., Lee, C. and Rho, H., "Feature-based machining precedence reasoning and sequence planning," *Proc. 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences(DETC98/CIE-5707)*, 1998.
9. Han, J., Kang, M. and Choi, H., "STEP-based feature recognition for manufacturing cost optimization," *Computer-Aided Design*, Vol. 33, No. 7, pp. 671-686, 2001.
10. Kim, Y., "Form feature recognition by convex decomposition," *Proc. ASME Computers in Engineering Conferences*, pp. 61-69, 1998.

강 무 진

1977년 서울대 기계공학과 학사
1979년 KAIST 기계공학과 석사
1986년 독일 베를린 공대 기계공학부 박사
1987~1995년KIST CAD/CAM연구실
1995년~현재 성균관대학교 기계공학부
독일 Fraunhofer연구소(FhG-IPK) 연구원으로 근무하였으며, 영국 Warwick대학교와 미국 MIT에서 방문교수로 연구하였다. CIRP Corresponding Member, 국제학술지 Production Planning and Control의 편집위원으로 활동하고 있다.
관심분야: 생산시스템 설계 및 제어, 지식관리, STEP, 설계 자동화