

# STEP AP224 를 이용한 특징형상의 가공 방법에 관한 연구

김야일\*(성균관대학교 대학원), 강무진(성균관대학교 기계공학부)

A study on the Methodology of Machining process of Features Using STEP AP224

Yail Kim(Mechanical Eng. Dept., SKKU), Mujin Kang(Mechanical Eng. Dept., SKKU)

## ABSTRACT

STEP AP224 includes the information of machining feature and tolerances. Machining features are machined from raw material. Tolerances constrain feasible methods of manufacture, strongly influence the cost of manufacture. And tolerances influence the machining process. We need to decide the precedence between features, tool radius and tool direction for minimum tool changes. This paper deals with the method of decision of precedence between features and process parameters using feature information and tolerances in STEP AP224.

**Key Words** : STEP, Feature(특징형상), Tolerance(공차)

### 1. 서론

전통적 제조업 분야에서 설계와 제조 사이에 설계 정보의 교환은 도면이었지만, 현재는 CAD 시스템을 도입하여 파일형태로 교환되고 있다. 하지만 여전히 설계단계에서 설계자가 명시한 여러 설정들은 그 의미가 CAD 시스템에 의해 자동으로 분석되지 않고 있다. 예를 들어 절삭 공정을 통하여 완성된 부품은 원 소재면이 그대로 남아있는 부분도 있고, 주어진 공차에 맞는 정밀도를 가지는 면도 있다. 설계단계에서 설계자는 원 소재면으로 남겨둘 부분과 어느 면이 어느 정도의 표면 거칠기를 가지는가를 명시한다. 하지만 이 표면 거칠기 정보는 대부분의 CAD 시스템에서는 단순한 텍스트 형태로 표현되거나 Entity 의 한 속성으로 정의된다. 이러한 설계자의 정보는 다시 제조자에 의해서 해석이 이루어지고 제품이 제조되어 진다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 STEP(STandard for the Exchange of Product model data)이 ISO-10303 표준으로 제정되었다. STEP 의 여러 Part 중 Part 47(Integrated generic resources : Shape variation tolerances (ISO 10303-47))[1]은 공차에 대한 정보를 정의한 통합 자원이며, AP 224(Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining

Features)[2]는 특징형상을 이용하여 기계 제품을 정의하는 응용 프로토콜이며 특징형상 정보와 Part 47에 기초한 공차정보를 포함하고 있다. 본 연구에서는 STEP AP224 의 특징형상 정보와 공차 정보를 이용하여 특징형상을 복원한 후, 특징형상의 가공 선후관계를 결정하고 공차 및 여러 설정에 적합한 공정 및 공구를 설정하고자 한다.

### 2. STEP에서의 공차 정보 표현

기계가공에서 정의되는 공차는 크게 치수공차, 기하공차, 표면 거칠기(Surface roughness)로 분류할 수 있다. STEP Part 47에서는 치수공차, 기하공차가 정의되어 있고, 기하공차는 Fig. 1 처럼 정의되고, EXPRESS-G diagram 은 Fig. 2 와 같다.

```
#813=geometric_tolerance(#814,'flatness',#815):
#814=measure_with_unit(parameter_value(0.001),$):
#815=shape_aspect($,$,#816,.F.):
#816=product_definition_shape($,$,$):
#817=property_definition_representation(#816.#818):
#818=representation($,(#793),$):
```

Fig. 1 Definition of geometric tolerance in STEP

공차에 관한 Schema 를 정의하고 있는 STEP Part 47 에는 표면 거칠기에 관한 Schema 가 없어

Fig. 3 처럼 부품의 면(face)의 속성(property)으로 정의하였다. Fig. 3 의 #811 번에 surface\_roughness를 정의하였고, 면(face) #778 번의 속성으로 정의하였다.

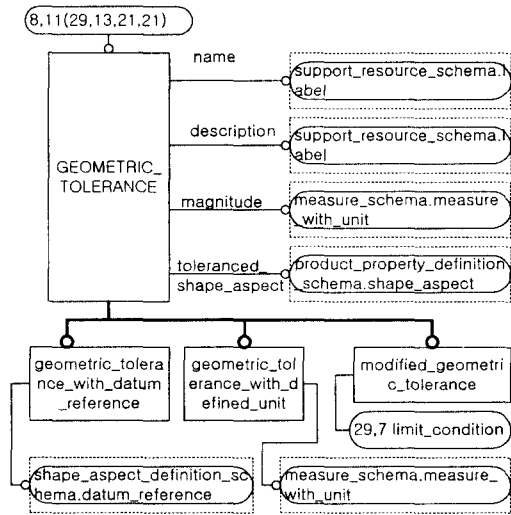


Fig. 2 EXPRESS-G for geometric tolerance in STEP[1]

```
#810=property_definition_representation(#811,#812):
#811=property_definition('surface_roughness','Ra=6.3,
Machining=M, Cutoff=0.005000, Machining_Aspect=M,
clearance=0.002',$):
#812=representation($,(#778),$):
```

Fig. 3 Declaration Surface Roughness.

### 3. 특징형상의 가공방법 및 인자 결정

STEP AP224 파일에서 특징형상은 이미 그 방향이 정의되어 있지만, 이 가공 방향만으로는 특징형상의 가공 선후 관계(precedence relation)는 알 수 없다. 특징형상의 가공 진입면을 결정하고, 특징형상의 가공 선후관계를 결정하기 위해 Fig. 4 처럼 특징형상의 면을 part face 와 non-part face 로 구분하였다.[3,4] STEP 파일로부터 특징형상을 복원한 후, 부품과 특징형상의 면을 분석하여 part face 는 특징형상의 면 중, 부품과 만나는 면이고 non-part face 는 부품과 만나지 않는 면으로 정의하였다.

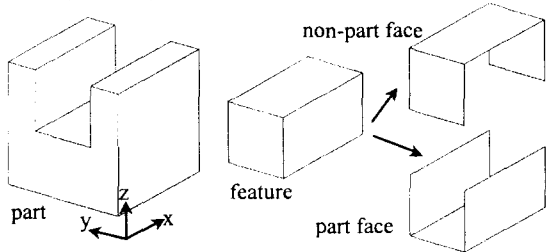


Fig. 4 Part Face vs. Non-Part Face

### Tool direction and tool accessibility

특징형상 복원 후, 특징형상을 가공하기 위한 공구의 진입면, 방향, 직경 등을 결정한다. 특징형상의 면 중에 모든 non-part face 로 공구가 진입할 수는 있지만, 공구의 반경까지 고려하고자 한다. 즉 Fig. 4 와 같은 slot 을 가공할 때, 공구의 방향을  $\pm x$  축 방향으로 설정하여 가공하려면 공구의 직경이 0(zero)이어야 한다. 즉, 공구의 지름이 0(zero)인 non-part face 는 공구 진입면 list 에서 제외한다. 그리고 각각의 면을 진입면으로 설정했을 때, 요구되는 공구의 직경을 설정한다. 이때 요구되는 직경 중 최소값을 취한다. 그리고 특징형상의 바닥면을 분석하여 flat-end mill 이 필요한지 ball-end mill 이 필요한지 결정한다.[5]

### Precedence relation

특징형상의 면 분석이 끝나면, 특징형상들 사이에 서로 만나는 면들이 있는지를 분석한다. 2 개의 특징형상이 만난다면, 특징형상의 가공순서에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. Fig. 5 와 같은 step 과 pocket 을 가지고 있는 부품에서 pocket 은 step 을 먼저 가공해야 가공할 수 있다. 특징형상 step(711)의 면 793 번은 부품의 면 240 과 만나는 part face 이며 특징형상 pocket(464)의 면 542 는 non-part face 이고 면 793 과 만나고 있다. 특징형상의 가공 선후관계(precedence relation)는 한 특징형상(464)의 non-part face( $f_{542}$ )가 다른 특징형상(711)의 part face( $f_{793}$ )와 만나면, 자신을 가공하기 전에 part face 를 포함하는 특징형상(711)을 먼저 가공해야 한다.[6] 즉 특징형상 step(711)을 먼저 가공하고 그 후에 특징형상 pocket(464)을 가공한다.

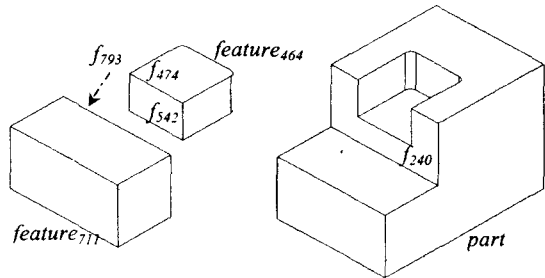


Fig. 5 Precedence Relation when Features are contact.

Fig. 6 처럼 두개의 특징형상, slot 과 hole 이 교차하는 경우 가공순서에 직접 제약을 주는 것은 없다 어느 것을 먼저 가공해도 되지만, slot 을 먼저 가공하면 hole 의 동축도(Concentricity)를 맞추기가 약간은 문제될 수 있기 때문에 hole 을 먼저 가공하고 slot 을 추후에 가공하는 것이 낫다.

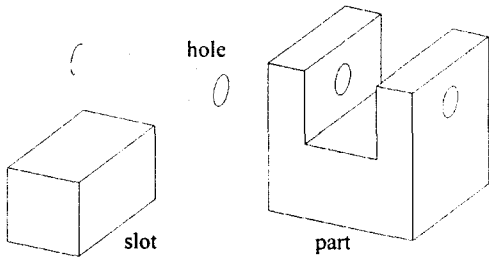


Fig. 6 Precedence Relation when Features are intersect.

특징형상의 선후관계에서 또 하나 고려해야 할 것이 Fig. 7 처럼 기하공차의 기준면이 있을 경우이다. 기준면이 있을 경우, 공차가 적용된 면과 관계된 특징형상(feature<sub>2</sub>)보다 기준면과 관계된 특징형상(feature<sub>1</sub>)을 먼저 가공해야 한다.[7]

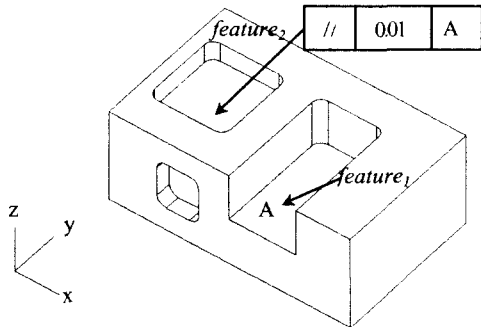


Fig. 7 Precedence Relation with respect to Geometric Tolerance

#### Tolerances

STEP AP224 는 특징형상 정보 외에 공차정보도 포함하고 있다. STEP 에서 정의된 공차를 분석하기 위해 Table 1, 2 와 같은 2 개의 class 를 정의하였다.

Tolerance class 는 부품에 표현된 공차의 종류를 저장하고, 그것의 각각의 속성들은 Tolerance property class 에 저장하도록 하였다. Tolerance class 의 Type 필드에는 기하공차는 geometric\_tolerance, 치수공차 중 plus minus 공차는 plus\_minus\_tolerance, 표면 거칠기는 property\_definition 이라는 키워드를 저장하며, Name 필드는 각 공차의 종류를 나타내는 것으로 기하공차 중 원통도 공차는 cylindricity 를 저장하였다.

[Table 1] Tolerance Class

ID	Type	Name	desc.
1	geometric_tolerance	cylindricity	
2	property_definition	surface rou...	
3	plus_minus_tolerance	dimensional...	diameter
4	plus_minus_tolerance	directed dim...	
5	geometric_tolerance	flatness	

[Table 2] Tolerance Property Class

ID	Tol. ID	Type	Name	magnitude	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	

위 공차들의 각각의 속성은 Tolerance property class 의 Tolerance ID 필드에 자신의 ID 를 저장함으로써 공차와 속성의 관련성이 정의된다.

Tolerance property class 의 ID 는 기본키이며 Tol. ID 는 Tolerance class 의 공차 ID 이다. 이렇게 함으로써 Tolerance property class 의 1 번은 Tolerance class 1 번인 geometric\_tolerance 의 속성임이 정의된다. Type 필드는 공차의 속성을 정의하는 부분의 STEP 에서 사용하는 키워드를 저장한다. Tolerance property class 의 ID 1 번의 Type 필드의 값은 measure\_with\_unit, 2,8,11 번은 representation, 9,10 번은 tolerance\_range 라는 키워드를 저장한다. magnitude 는 공차의 크기 값, ref. ID 는 공차가 적용된 entity ID 또는 기하공차의 datum 이 되는 entity ID, value 값은 magnitude 와는 다른 것으로 공차의 속성이 문자열로 주어진 경우의 값을 저장한다.

위에 예시된 Table 에서 Tolerance class 의 1 번 기하공차는 원통도 공차(cylindricity)이며 이 공차의 값은 0.02, 관련된 면은 #803 번이다. Tolerance class 의 2 번 표면 거칠기의 속성은 Tolerance property class 의 3 번부터 8 번까지 6 개의 속성이 정의되어 있다. Tolerance class 의 3 번 plus minus tolerance 의 경우 edge 에 적용된 경우 관련된 entity 가 edge 하나면 되지만, 경우에 따라서 plus minus tolerance 는 두 면(face) 사이의 공차를 의미할 때도 있다. 이 경우 관련된 entity 는 2 개의 면 ID 가 필요하게 된다.

이렇게 STEP AP224 의 공차정보를 분석 후, 공정 및 공구의 설정에 이용하기 위해 공정에 관련된 정보를 데이터베이스에 저장하였다. 이 데이터베이스는 Table 3,4,5 에서 보는 것과 같이 3 개의 테이블로 이루어져 있다. 부품의 형상에 따라 가공 가능한 공정 종류를 결정하기 위한 Machining table(Table 3)과, 표면 거칠기에 따라 하나 이상의 공정이 필요한 경우, 공정의 Routing 을 정하기 위해 각 공정의 Routing 에 따라 얻을 수 있는 공차정보를 저장하고

있는 Process routing table (Table 4), 공정별로 따라 얻을 수 있는 기하공차 범위를 저장하는 Geometric tolerance range table(Table 5)을 정의하였다.

[Table 3] Machining Table

ID	Machining	Shape
1	Drilling	Hole
2	Reaming	Hole
3	Boring	Hole
4	Milling	Prismatic
5	Grinding	Prismatic
6	Turning	Round symmetrical shapes

[Table 4] Process Routing Table( $\mu\text{m}$ )

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
7	6	3	Semi fin. boring	2.5	10	10	11
8	7	3	Finish boring	0.63	2.5	7	9
9	7	3	Diamond boring	0.16	0.63	5	7
10	7	3	Rough grinding				
11	10	3	Semi fin. grinding	0.16	0.63	5	6
12	10	3	Finish grinding	0.16	0.63	5	6

[Table 5] Geometric Tolerance Range Table (mm)

ID	Basic process	Geo. tolerance type	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

STEP 파일에 정의된 부품을 가공하기 위한 공정을 결정하기 위해, 특징형상을 복원 후, 특징형상의 형상이 hole 이면, Machining table 과 Geometric tolerance range table 을 검색하여 Drilling, Boring, Reaming 등과 같은 초기 공정을 선택한다. 선택된 초기 공정으로 시작하며, 주어진 표면 거칠기를 만족하는 Process routing 을 Process routing table 에서 검색하여 공정을 결정한다. 초기 공정만으로 표면 거칠기를 만족시키면 초기 공정만으로 가공한다.

#### 4. 구현

본 연구에서는 Fig. 8 과 같은 형상의 STEP AP224 파일을 읽어 들여 특징형상을 복원하고, 공구 및 공정 인자 등을 설정하였으며, 복원한 특징형상은 Fig. 9 와 같다.

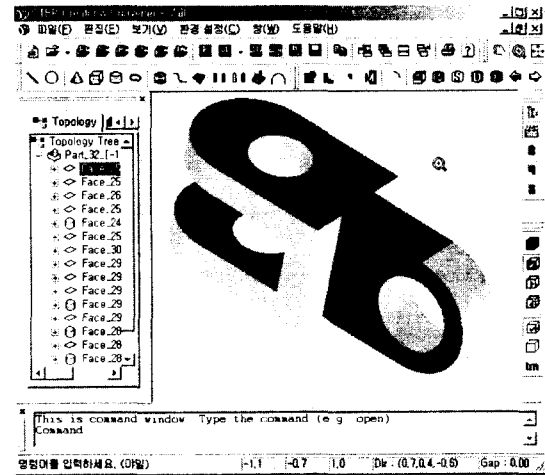


Fig. 8 Representation the geometry of STEP AP224 model.

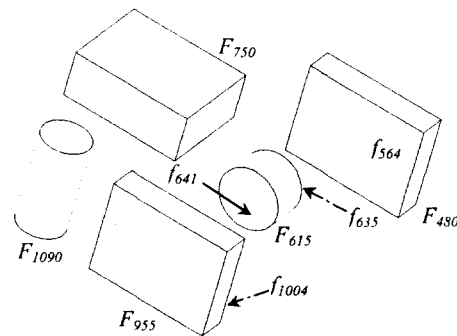


Fig. 9 Restored Features from STEP AP224 file.

특징형상과 부품 사이의 면 관계는 Fig. 10 과 같고 프로그램에 의해서 분석된 면 정보는 Fig. 11 과 같다. Fig. 11 의 tool radius 필드의 값이 0(zero)인 것은 그 면으로 공구가 접근하기 위해서는 공구의 반경이 0(zero)이어야 한다는 것이고, -1 은 관계가 없다는 것을 의미한다. Fig. 12 는 분석 후, 가공 선후 관계를 나타낸 것으로 Fig. 12 에서 특징형상 480 과 인접한 특징형상은 615 번이며, 먼저 가공해야 하는 것은 특징형상 480 임을 표시하고 있다.

이렇게 분석된 특징형상의 가공 선후관계 및 공정 인자를 토대로 가공 순서, Setup 수, 공구 방향 및 공구 반경을 Fig. 13 의 좌측 Tree 로 표시하였다. Setup 수는 공구의 방향, 공구의 종류, 공구 반경 등이 바뀔 때 1 이 증가한다. 공구의 반경이 -1 은 반경에 제한없이 어느 것도 가능하다는 것이다. 이전, 또는 이후의 Setup 에서 사용되는 공구와 같은 공구를 사용하면 된다. 각 특징형상의 바닥면을 분석하여, 가공에 필요한 공구의 type 이 flat-end mill 인지 ball-end mill 인지 표시하고 있고, Setup 수가 가장 적은 것을 tree 의 상단에 위치하게 했다.

## 5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 STEP 에 표현된 공차와 특징형상 정보, 그리고 공차 데이터베이스를 이용하여 특징형상의 가공에 필요한 가공 선후관계, 공구 및 공정 인자 등을 결정할 수 있는 시스템을 구현하였다. STEP 의 공차정보를 분석하기 위해, Tolerance class 와 Tolerance property class 로 나누어 저장했으며, 형상 및 공차를 고려하여 기본 공정을 선택한 후, 표면 거칠기를 고려하여 주어진 표면 거칠기를 만족시킬 수 있는 Process routing 을 생성하였다. 특징형상의 가공 선후관계는 특징형상이 인접하거나 교차할 경우, 기하공차의 기준면이 있을 경우 등을 고려하여 결정하였다. 이렇게 결정된 가공인자 및 가공 선후관계를 적용하여 가공 가능한 특징형상 가공 순서 및 가공방향을 결정하여 Tree 로 표시하였다.

향후 이렇게 생성된 특징형상의 가공 선후관계 및 공구 정보를 이용하여 공정계획 수립에 이용할 수 있다. 하지만 STEP AP224 에서 이렇게 생성된 공정계획을 저장할 수 없기 때문에, 이러한 공정계획 후 가공 정보를 저장할 수 있는 STEP-NC 로의 확장이 필요하다.

## 6. 참고 문헌

1. ISO TC184/SC4, "STEP Part 47 : Integrated generic resources : Shape variation tolerances (ISO 10303-47), 1996
2. ISO TC184/SC4, "STEP Part 224 : Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Features", 1996.
3. JungHyun Han, "3D Geometric Reasoning Algorithms for Feature Recognition", Ph.D. Dissertation, Computer Science Dept., Univ. of Southern California, Los Angeles, pp.26-47, 1996.
4. Y. Kim, E. Wang, C. Lee, and H. Rho, "Feature-based Machining Precedence Reasoning and Sequence Planning", in *Proc. 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences(DETC98/CIE-5707)*, 1998
5. 한인호, "공정계획과의 통합을 위한 특징형상 인식에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, pp. 9-26, 2000년 2월.
6. Yong Se Kim, "Form Feature Recognition by Convex Decomposition", in *Proc. ASME Computers in Engineering Conferences*, pp. 61-69, 1998
7. 서영훈, "최소가공시간에 의한 복합특징형상의 가공순서 생성", 성균관대학교 석사학위 논문, pp. 19-22, 2001년 2월.

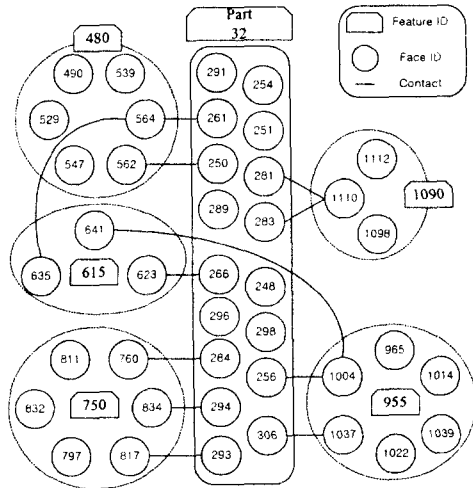


Fig. 10 Contact Information between Part and Features.

특징형상 정보	특징형상 정보	공차정보(Tolerance)				
Feature ID	Face ID	Is Part Face	Adj. Part	Mating Face ID	Tool Radius	Locat. C
480	480	0	-1	-1	0	
480	490	0	-1	-1	0	
480	564	1	32	261	0	
480	562	1	32	250	0	
480	547	0	-1	-1	0	
480	529	0	-1	-1	0	
615	623	1	32	266	0	
615	636	0	-1	-1	6.4	
615	641	0	-1	-1	6.4	
750	760	1	32	284	0	
750	834	1	32	294	0	
750	797	0	-1	-1	10	
750	817	1	32	293	0	
750	832	0	-1	-1	0	
750	811	0	-1	-1	0	
750	965	0	-1	-1	0	
955	1014	0	-1	-1	-1	

Fig. 11 Contact Information between Part and Features.

특징형상 정보	특징형상 정보	공차정보(Tolerance)		
Feature ID	Face ID	Adj. Feature ID	Adj. F's Face ID	Pre-process Feature
480	564	615	636	480
955	1004	615	641	955

Fig. 12 Precedence Relation of Features

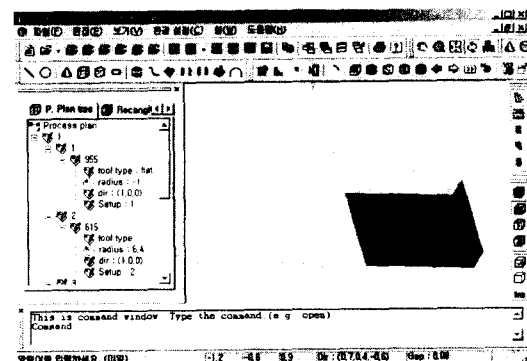


Fig. 13 Process Parameters and Precedence Relation.