

특징형상에 기반한 공정설계를 위한 공차 모델러 개발

김재관*, 노형민(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터), 이수홍(연세대 기계공학과)

A Development of the Tolerance Modeler for Feature-based CAPP

J. K. Kim, H. M. Rho(CAD/CAM Research Center, KIST), S. H. Lee(Mech. Eng. Dept., Yonsei Univ.)

ABSTRACT

A part definition must not only provide shape information of a nominal part but also contain non-shape information such as tolerances, surface roughness and material attributes. Although machining features are useful for suitable shape information for process reasoning in the CAPP, they need to be integrated with tolerance information for effective process planning.

We develop the tolerance modeler that efficiently integrates machining features with tolerance information for feature-based CAPP. It is based on the association of machining features, tolerance features, and tolerances. Tolerance features, where tolerances are assigned, are classified into two types; one is the *face* that is a topological entity on a solid model and the other is the *functional geometry* that is not referenced to topological entities. The *functional geometry* is represented by using machining features. All the data for representing tolerance information with machining features are stored completely and unambiguously in the independent tolerance structure.

The developed tolerance modeler is implemented as a module of a comprehensive feature-based CAPP system.

Key Words : Part definition (부품정의), Tolerance (공차), Machining feature (가공 특징형상), CAPP (공정설계), Tolerance feature (공차형상), Functional geometry (기능형상)

1. 서론

설계와 가공을 연결하는 공정설계는 부품의 형상 정보뿐만 아니라, 재질이나 공차, 표면거칠기와 같은 가공기술적 정보를 필요로 한다. 특히 공차는 형상 정보와 연계하여 셋업 결정, 치구 및 고정구 선정, 기계 및 공구 할당, 가공 방법 및 순서 결정 등 공정 설계 대부분의 과정에 영향을 준다. 솔리드 모델을 대상으로 하는 CAD/CAM 환경에서 특징형상에 기반한 방법 (feature-based approach)은 부품의 형상요소를 직접 다루는 것보다 유용하다⁽¹⁾. 특징형상에 기반한 공정설계에 있어서 공정 추론이 용이한 형상정보를 제공하는 특징형상과 공차정보의 유기적인 연계는 효과적인 공정설계를 위하여 선행되어야 한다. 여기에서 특징형상은 소재로부터 제거되는 체적을 나타내는 가공 특징형상 (machining feature)이다.

특징형상과 공차의 연계에 관한 기존의 연구는 공차를 특징형상의 속성으로 다루는 방법⁽¹⁾과 독립

적인 구조로 저장하는 방법^(1,2,3,4)으로 나눌 수 있다. 전자는 특징형상을 직접 다루고 있으며, 특징형상의 구성면, 위치, 폭, 깊이 등에 대한 속성으로 공차를 저장한다. 그러나 데이터베이스를 갖는 공차의 표현에 있어서 명확하지 못하고 불안정하며, 데이터 구조의 효율성이 저하되는 문제가 있다. 후자는 부품의 형상요소와 공차를 연계시키고, 이를 형상정보와 독립적인 데이터 구조로 저장하여 관리한다. 이 때, 특징형상은 공차가 지정된 형상요소와의 연관성을 통하여 공차정보를 갖게 된다. 이는 전자의 문제를 해결하고 있지만, 마주보는 두 평면의 중심평면이나 면의 일부분과 같이 부품의 형상요소가 아닌 부분에 공차를 지정하기 어렵다.

본 연구는 공차가 지정되는 공차형상 (tolerance feature)을 부품의 형상요소에서 확장하여 분류, 정의한다. 부품의 형상요소가 아닌 공차형상을 별도로 표현하여 정의된 모든 공차형상에 공차를 지정/저장하고, 이를 특징형상과 유기적으로 연계시키는 공차

모델러를 개발한다. 이는 공차정보를 형상정보와 함께 특징형상에 통합하여 효과적인 공정설계를 지원할 것이다. 본 연구는 특징형상에 기반한 절삭가공 자동 공정설계 시스템인 FAPPS (Feature-based Automatic Process Planning System)⁽⁵⁾ 환경에서 수행된다

2. FAPPS 환경

FAPPS는 경계표현 (boundary representation) 구조의 솔리드 모델 (ACIS 파일)을 입력받아 공차를 지정하고, 특징형상을 자동으로 인식한 후, 일련의 공정설계를 수행한다 이 때, 생성되는 모든 정보는 관계형 공통 데이터베이스에 저장된다.

FAPPS는 밀링/선삭 가공을 하는 공작기계 부품의 설계에서 자주 나타나는 2.5차원 형상을 특징형상으로 정의하고 있다. 본 연구는 32종류의 밀링 특징형상만을 대상으로 하고 있으며, 이들은 특정한 분류기준에 의해 POCKET 10종류, HOLE 7종류, SLOT 6종류, STEP 7종류, 그리고 SURFACE 2종류로 분류된다. 이들의 형상정보는 특징형상의 종류, 위치와 자세, 그리고 크기를 정하는 주요 변수들 (폭, 깊이 등)로 구성된다 또한, 특징형상의 구성면들은 면 식별자 (face label)에 의해서 구별되며, 내부 구속조건을 유지한다. Fig. 1은 밀링 특징형상의 예를 보여주고 있다.

현재의 FAPPS 환경에서 공차는 별도의 GUI (Graphical User Interface)를 제공하는 “공차입력” 모듈을 통하여 지정/저장되며, 이는 솔리드 모델의 면 (face)을 대상으로 하고 있다 즉, FAPPS는 독립적인 공차 저장 구조를 갖고 있지만, 공차표준⁽⁶⁾에서 제시하는 모든 경우 (중심평면, 면의 일부분, 돌출 공차역 등)에 대하여 공차를 지정할 수는 없다.

공차가 지정된 후에 이루어지는 밀링 특징형상 인식은 면들의 주기를 이용하는 (face pattern-based) 방식과 입체분할 (ASVP Alternating Sum of Volumes with Partitioning) 방식⁽⁷⁾을 복합적으로 이용하고 있

며, 정의된 밀링 특징형상과 이들이 수평으로 결합한 복합 특징형상의 형상정보 및 기하학적 선행관계를 추출한다. 또한, face mapping을 통하여 솔리드 모델의 면과 특징형상 구성면의 연계정보를 제공한다

3. 공차 모델러

3.1 기능적 요구사항

공차정보는 공차형상, 공차종류, 데이텀 기준 좌표계, 실체방식, 공차값 등으로 구성되며, 이는 공차표준을 따른다. 공차 모델러는 공차정보를 모두 표현할 수 있어야 하며, 별도의 검사 기능도 있어야 한다 공차 모델러의 일반적인 기능적 요구사항은 다음과 같다⁽⁸⁾

- Req. 1 공차를 공차형상과 연계시켜야 한다.
- Req. 2 모든 종류의 공차를 지원하여야 한다.
- Req. 3 데이텀 기준 좌표계와 데이텀 우선순위 설정을 지원하여야 한다.
- Req. 4 실체방식을 지원하여야 한다.
- Req. 5 데이텀형상의 유효성을 검사하여야 한다.
- Req. 6 지정된 공차가 표준이나 관습을 따르는지 그 적법성을 검사하여야 한다.
- Req. 7 공차가 지정되지 않은 형상에 기본값을 설정하여야 한다.
- Req. 8 공차의 지정 및 확인이 용이한 GUI를 제공하여야 한다.

3.2 공차형상

3.2.1 공차형상의 분류 및 정의

기능적 요구사항을 만족하기 위해서는 먼저 공차가 지정되는 공차형상이 분류/정의되어야 한다 공차형상을 솔리드 모델의 데이터 구조에 존재하는지 여부에 따라 face와 functional geometry^(3,9)로 분류하였으며, 이들을 특징형상의 기하학적 정의와 공차표준을 참조하여 Fig 2 와 같이 세분화하였다 이러한 분류는 부품이 정의된 특징형상으로 완전히 표현된다는 것을 전제로 한다.

Face는 솔리드 모델의 형상요소 (위상요소)인 면이다 여기에서 cylindrical surface는 자신의 축직선 (axis)을 포함한다

Functional geometry는 솔리드 모델의 데이터 구조에 존재하지 않으나, 공차 지정을 위하여 필요한 형상이다. Center plane은 마주보는 두 평면의 중심평면이다 Pattern은 한 평면에 일정한 주기로 놓여 있는 기하학적으로 동일한 형상들의 집합이다 Common center는 축직선이나 중심평면이 공통인 모든 형상들의 공통 축직선이나 중심평면이다. Projection은 돌출 공차역을 지정하고자 할 경우에 공차가 지

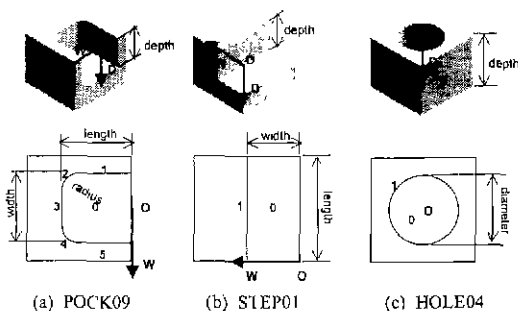


Fig. 1 Examples of the milling features

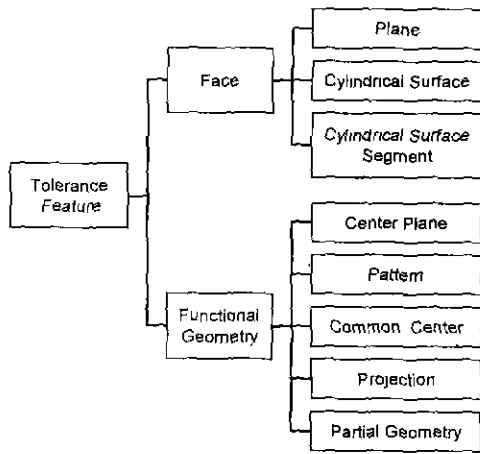


Fig. 2 Classification of the tolerance features

정되는 돌출부이다. Partial geometry는 면의 일부 영역으로 레이턴 표적 등이 지정된다. Fig. 3은 functional geometry의 몇 가지 예를 보여주고 있다.

공차형상이 데이터므로 이용되면, 이는 데이터형상이 된다.

3.2.2 Functional geometry의 표현

Functional geometry는 솔리드 모델의 데이터 구조에 존재하지 않으므로, 별도의 표현이 필요하다. Partial geometry를 제외한 functional geometry는 FOS (Feature Of Size)와 관련되어 있다. FOS는 원통이나 슬롯, 사각 홈 등과 같이 면 집합과 그들 사이의 차수로 정의되는 형상이며, 정의한 밀링 특징형상 중 대부분의 POCKET, HOLE, SLOT 특징형상은 이에 해당한다 따라서, partial geometry를 제외한 functional

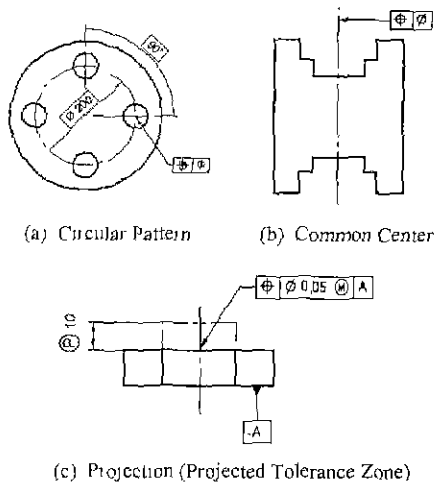


Fig. 3 Examples of the functional geometries

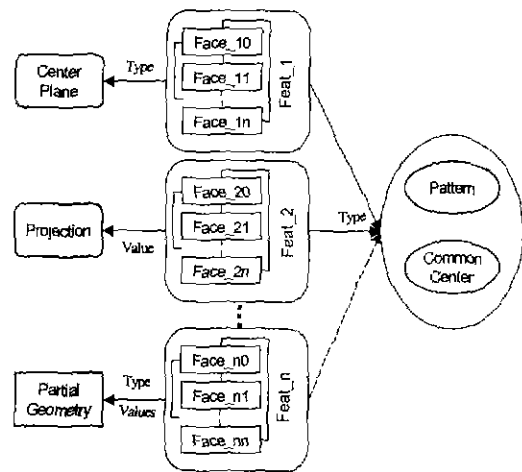


Fig. 4 Relationship between functional geometries and features

al geometry는 특징형상과의 관계를 이용하여 표현할 수 있다. Partial geometry는 특징형상의 지역 좌표계를 이용하여 특징형상 구성면의 일부 영역으로 표현할 수 있다. Fig. 4는 functional geometry와 FOS에 해당하는 특징형상의 관계를 보여주고 있으며, Table 1은 분류된 모든 functional geometry를 표현/저장하는 FUNC_GEO 테이블이다.

Table 1 FUNC_GEO table

Field Name	Description
FG_ID	Functional geometry index
FG_TYPE	Functional geometry type
SUB_TYPE	Functional geometry sub-type
REF_FEATURE	Reference feature
FEATURES	Related features
VALUE	Value of a projected distance
CENTER	Coord. of a partial center
DISTANCE	Distances of partial area

3.3 공차정보의 표현

Fig. 5는 공차정보의 표현 구조를 보여주고 있다 ACIS 파일에 대한 특징형상인식 결과를 입력받은 후, (i)솔리드 모델의 면(face)과 (ii)특징형상을 이용하여 표현된 functional geometry에 공차를 지정한다 지정된 공차는 Table 2의 TOLERANCE 테이블에 저장된다. TOLERANCE 테이블은 공차형상과 연계하여 공차표준에서 제시하는 모든 공차정보를 표현한다. 특징형상과 공차정보의 연계는 공차형상과 특징형상의 연계정보를 통하여 이루어진다. Face는 face mapping을 통하여 특징형상과 연계되며 functional geometry는 특징형상과 직접 연계되어 있다 즉, 공차-공차형상, 공차형상-특징형상의 관계에 의하여 특징형상은

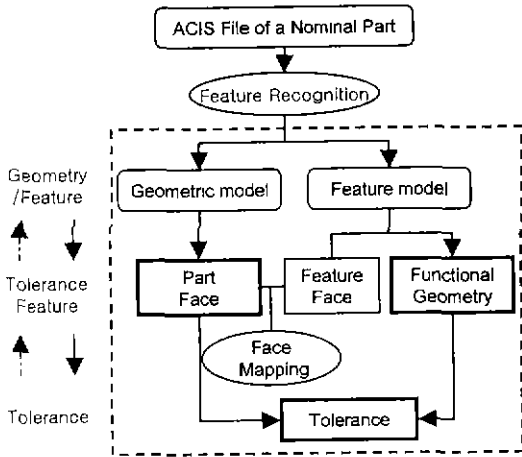


Fig 5 Structure for representing tolerance information

Table 2 TOLERANCE table

Field Name	Description
TOL_ID	Tolerance index
TOL_TARGET	Tolerance feature
TARGET_TYPE	Geo. of the tolerance feature
TOL_TYPE	Tolerance type
TOL_VALUE	Tolerance value
DIM_VALUE	Nominal dimension
DIM_PLUS	Plus tolerance value
DIM_MINUS	Minus tolerance value
ZONE_MOD	Zone modifier
TOL_CONSTRAINT	Material condition
PRI_DTM	TOL_ID of the primary datum
PRI_DTM_CONSTRAINT	Material condition of the primary datum
SEC_DTM	TOL_ID of the secondary datum
SEC_DTM_CONSTRAINT	Material condition of the secondary datum
TER_DTM	TOL_ID of the tertiary datum
TER_DTM_CONSTRAINT	Material condition of the tertiary datum

공차정보를 갖게 된다. Fig. 6은 특징형상과 공차정보의 연계를 위한 데이터베이스 내부의 E-R 다이어그램이다. 여기에서 FEAT_VOLUME Table은 특징형상의 형상정보를 저장하고 있으며, FTP Table은 솔리드 모델의 면과 특징형상 구성면의 연계정보를 저장하고 있다. 이 두 테이블은 특징형상인식 모듈에서 제공한다. 본 연구에서 제한한 공차정보의 표현 구조는 특징형상을 인식한 후에 공차를 지정한다는 점과 functional geometry에 대한 공차 지정이 가능하다는 점에서 FAPPS의 구조와 차이가 있다.

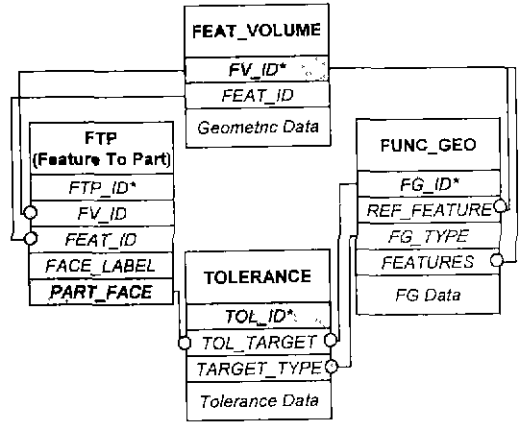


Fig 6 E-R diagram for associating tolerances with features

4. 구현 및 적용

4.1 공차 모델러 구현

공차 모델러는 ACIS kernel 5.0과 Visual C++6.0으로 구현되었으며, 데이터베이스로는 ORACLE 7.3을 이용하고 있다. 이는 FAPPS의 구현 환경과 동일하다.

공차 모델러는 Model_View, FG_Creation, 그리고 TOL_Specification으로 구성된다 (Fig. 7). Model_View는 솔리드 모델과 특징형상, 그리고 특징형상 목록을 보여주며, functional geometry를 표현하거나 공차를 지정할 때 특징형상 및 솔리드 모델의 면과 직접

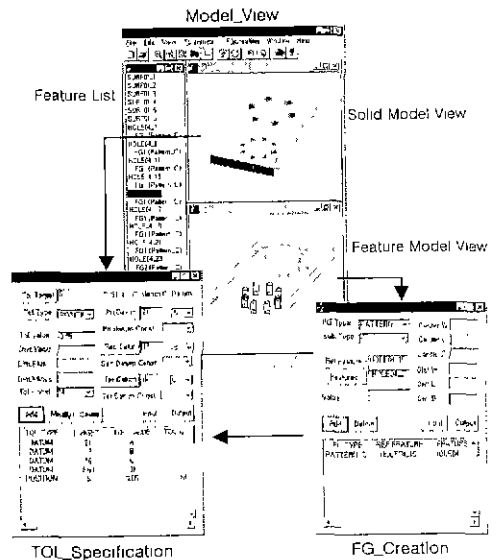


Fig. 7 A screen of the tolerance modeler

인터페이스를 한다 FG_Creation은 Model_View에 나타난 특징형상을 참조하여 *functional geometry*를 표현한다. Tol_Specification은 각각의 공차형상에 공차를 지정한다.

공차가 지정되면, 공차 모델러는 지정된 공차의 적법성, *functional geometry* 및 데이터형상의 유효성, 데이터 기준 좌표계 설정의 적합성에 대하여 별도의 검사를 수행한다

4.2 적용 결과

Fig. 9는 Fig. 8의 예제 도면에 대하여 공차 모델러를 적용한 결과를 요약하여 보여주고 있다. 직각도가 지정된 중심평면을 POCK09_9 특징형상을 이용하여 local center (LC_W)로 표현하였으며, 데이터 표적 'C1'을 SURF01_2 특징형상에서 partial geometry (PG_C)로 표현하였다. 위치도가 지정된 HOLE04_10은 HOLE04_12와 pattern (PT_R)을 이루고 있다. face 및 *functional geometry*에 대한 모든 공차정보 (데이터 설정 포함)가 특징형상과 연계되어 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구계획

특징형상에 기반한 공정설계를 효과적으로 수행

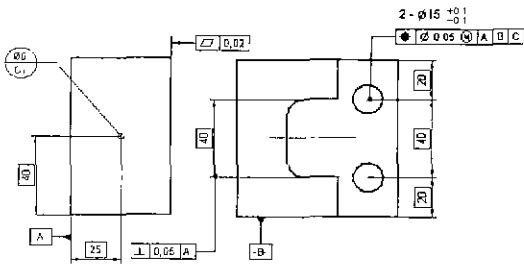


Fig 8 An example drawing

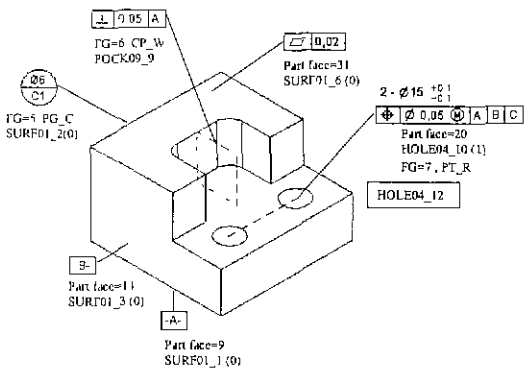


Fig. 9 Result of tolerancing for the example drawing

하기 위하여 특징형상과 공차정보를 연계시키는 공차 모델러를 개발하였다. 특징형상을 이용하여 솔리드 모델의 데이터 구조에 나타나지 않는 *functional geometry*를 표현함으로써, 솔리드 모델의 형상요소(면)만을 지원하는 기존의 공차 지정/저장 방식을 개선하였다. 형상정보와 공차정보를 독립적인 구조로 관리함으로써 데이터 구조의 효율성을 높였으며, 별도의 검사 기능을 추가하여 적합한 공차가 지정되도록 하였다

향후 연구로는 개발된 공차 모델러를 공정설계 시스템인 FAPPS에 통합하여 그 성능을 평가하여야 하며, *functional geometry*의 표현 과정을 사용하기 용이하도록 개선하여야 한다.

참고문헌

1. Shah, J. J., and Mantyla, M., Parametric and Feature-based CAD/CAM, Jone Willey and Sons, 1995.
2. Ha, S., Hwang, I., Lee, K., and Rho, H M., "Tolerance Representation Scheme for Integrated Cutting Process and Inspection Planning," Proc. of the 6th CIRP International Seminar on Computer-Aided Tolerancing, Mar. 22-24, 1999.
3. Brown, C W., Kirk, W. J, Simons, W. R., and Brooks, S. L., "Feature-Based Tolerancing for Advanced Manufacturing Applications," Applications in Manufacturing and Services Industries Conference, Oct. 27-28, 1994.
4. Guilford, J. and Turner, J., "Representational Primitives for Geometric Tolerancing," Computer-Aided esign, Vol 25, No. 9, pp. 577-586. 1993.
5. 노형민 외, 공정계획 및 품질관리 기술개발에 관한 연구(2차년도 보고서), 한국과학기술연구원, BSM0753-6225-2, 1998.
6. 최호선, ANSI, KS, ISO 규격에 의한 기하공차, 성안당, 1997.
7. Kim, Y. S., and Wco, D., "Geometric Reasoning for Machining Features Using Convex Decomposition," Computer-Aided Design, Vol. 6. No. 6. pp 477-489, 1994
8. Shah, J. J., and Miller, W. M., "A Structure for Supporting Geometric Tolerances in Product Definition System for CIM." Manufacturing Review, Vol. 3, No. 1. 1990.
9. Burkett, W C, "PDDI Approach to Dimensioning and Tolerancing a Solid Model," Proc. in Dimensioning and Tolerancing Workshop. CAM-I, July 10, 1985