

특징형상에 기반한 자동공정설계용 공차 모델러 연구

김재관* · 노형민* · 이수홍**

(2001년 2월 16일 접수, 2001년 10월 27일 심사완료)

A Study on the Tolerance Modeler for Feature-based CAPP

Jae Kwan Kim, Hyung-Min Rho and Soo-Hong Lee

Key Words: Tolerance(공차), Machining Feature(가공특징형상), CAPP(자동공정설계), Tolerance Feature(공차특징형상)

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 specifications. Although machining features are useful for suitable shape information for process reasoning in CAPP, they need to be integrated with tolerance information for effective process planning. We develop a tolerance modeler that efficiently integrates the machining features with the tolerance information for feature-based CAPP. It is based on the association of machining features, tolerance features, and tolerances. The tolerance features in this study, where tolerances are assigned, are classified into two types; one type is a face that is a topological entity on a solid model and the other type is a functional geometry that is not referenced to topological entities. The functional geometry is represented by using machining features. All the data for representing the tolerance information are stored completely and unambiguously in an independent tolerance data structure. The developed tolerance modeler is implemented as a module of a comprehensive feature-based CAPP system.

1. 서론

설계와 가공을 연결하는 공정설계는 부품의 형상정보 뿐만 아니라, 재질이나 공차, 표면거칠기와 같은 가공정보를 필요로 한다. 특히 공차는 형상정보와 연계하여 셋업 결정, 치구 및 고정구 선정, 기계 및 공구 선정, 가공 방법 및 순서 결정 등 공정설계 대부분의 과정에 영향을 준다.

솔리드 모델을 대상으로 하는 CAD/CAM 환경에서 특징형상에 기반한 방법(feature-based approach)은 부품의 형상요소를 직접 다루는 방법보다 유용하다. 특징형상에 기반한 공정설계에 있어서, 공정 추론이 용이한 형상정보를 제공하는 이러한 특징형상과 공차정보의 유기적인 연계는 효과적인 자동공정설계를 위하여 선행되어야 한다.⁽¹⁾ 여기에서 특징형상은 소재로부터 제거되는 체적을 나타내는 가공특징형상(machining feature)이다.

특징형상과 공차의 연계에 관한 기존의 연구는 공차를 특징형상의 속성으로 다루는 방법⁽¹⁾과 독립적인 구조로 저장하는 방법^(2~4)으로 나눌 수 있다. 전자는 특징형상을 직접 다루고 있으며, 특징형상의 구성면, 위치, 폭, 깊이 등에 대한 속성으로 공차를 저장한다. 그러나 데이텀을 갖는 공

* 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

† 책임저자, 회원, 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

E-mail : hmrho@kist.re.kr

TEL : (02)958-5641 FAX : (02)958-5649

** 회원, 연세대학교 기계공학과

차의 표현에 있어서 명확하지 못하고 불완전하며, 데이터 구조의 효율성이 저하되는 문제가 있다. 이에 반해, 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 부분에는 공차를 지정하기 어려운 문제가 있다.

본 연구에서는 공차가 지정되는 공차특징형상(tolerance feature)을 정의하여 공차표준에서 정의한 모든 공차를 부품에 지정/저장하고, 이를 특징형상과 유기적으로 연계시키는 공차 모델러를 개발한다. 이는 공차정보를 형상정보와 함께 특징형상에 통합함으로써 효과적인 자동공정설계를 지원할 것이다. 본 연구는 특징형상에 기반한 절삭가공 자동공정설계 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 밀링특징형상을 대상으로 하고 있으며, 이들은 특정한 분류기준⁽⁶⁾에 의해 POCKET 10종류,

HOLE 7종류, SLOT 6종류, STEP 7종류, 그리고 SURFACE 2종류로 분류된다. 이들의 형상정보는 특징형상의 종류, 위치와 방향, 그리고 크기를 정하는 주요 치수들(폭, 깊이 등)로 구성된다. 또한, 특징형상의 구성면들은 면 식별자(face label)에 의해서 구별되며, 내부 구속조건을 유지한다. Fig. 1은 이러한 밀링특징형상의 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⁽⁷⁾에서 제시하는 모든 경우(부품의 형상요소가 아닌 중심평면, 면의 일부분, 돌출 공차역 등에 대한 공차 지정 포함)의 공차 지정을 할 수 없다.

공차가 지정된 후에 수행되는 '특징형상인식' 모듈은 면들의 주기를 이용하는(face pattern-based) 방식과 입체분할(ASVP: Alternating Sum of Volumes with Partitioning) 방식⁽⁸⁾을 복합적으로 이용하고 있으며, 정의된 밀링특징형상과 이들이 수평으로 결합한 복합특징형상의 형상정보 및 기하학적 선행관계를 추출한다. 또한, 면 매핑(face mapping)을 통하여 솔리드 모델의 면과 특징형상 구성면의 연계정보를 제공한다.

3. 공차 모델러

3.1 기능적 요구사항

공차정보는 공차특징형상, 공차종류, 데이터 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.⁽⁹⁾

- 공차를 공차특징형상과 연계시켜야 한다.
- 모든 종류의 공차를 지원하여야 한다.
- 데이터 기준 좌표계와 데이터 우선순위 설정을 지원하여야 한다.
- 실체방식을 지원하여야 한다.
- 데이터 형상의 유효성을 검사하여야 한다.
- 지정된 공차가 표준이나 관습을 따르는지 그 적법성을 검사하여야 한다.
- 공차가 지정되지 않은 형상에 기본값을 설정하여야 한다.

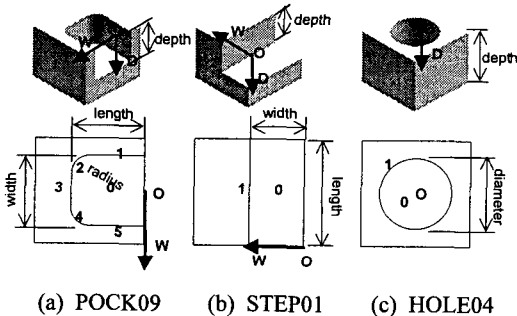


Fig. 1 Examples of the milling feature

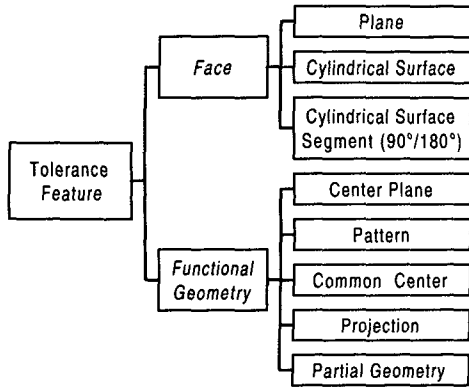


Fig. 2 Classification of the tolerance feature

- 공차의 지정 및 확인이 용이한 GUI를 제공하여야 한다.

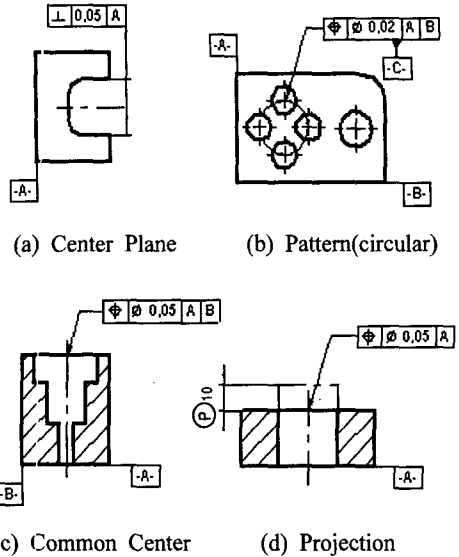
3.2 공차특징형상

3.2.1 공차특징형상의 분류 및 정의

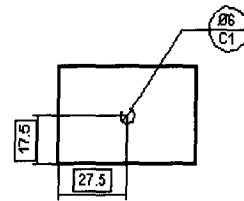
기능적 요구사항을 만족하기 위해서는 먼저 공차(또는 데이텀)가 지정되는 공차특징형상이 분류 및 정의되어야 한다. 공차특징형상을 솔리드 모델의 데이터 구조에 존재하는지 여부에 따라 *Face*와 *Functional Geometry*⁽¹⁰⁾로 분류하였으며, 이들을 특징형상의 기하학적 정의와 공차표준을 참조하여 Fig. 2와 같이 각각 세분화하였다. 이러한 분류는 정의된 특징형상으로 부품을 완전히 표현할 수 있다는 것을 전제로 한다.

*Face*는 솔리드 모델의 형상요소(위상요소)인 면이며, 특징형상을 기하학적으로 정의하는 *Plane*, *Cylindrical Surface*, 그리고 *Cylindrical Surface Segment(90° 또는 180°)*로 분류된다. 여기에서 *Cylindrical Surface*와 *Cylindrical Surface Segment*는 자신의 축직선(*axis*)을 포함한다.

*Functional Geometry*는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 부품의 형상요소는 아니지만, 공차 지정을 위하여 필요한 형상이다. 이는 공차표준에서 제시하는 공차가 지정되는 경우를 참조하여 5가지로 분류된다. (a) *Center Plane*은 마주보는 두 평면의 중심평면이며, (b) *Pattern*은 한 평면에 일정한 주기로 놓여 있는 기하학적으로 동일한 형상들의 집합이다. 그리고, (c) *Common Center*는 축직선이나 중심평면이 공통인 모든 형상들의 공통 축직선이나 중심평면이며, (d) *Projection*은 공차역을



(a) Center Plane (b) Pattern(circular) (c) Common Center (d) Projection



(e) Partial Geometry(datum target)

Fig. 3 Examples of the functional geometry

형상의 내부가 아닌 외부에 지정(돌출 공차역의 지정)하고자 할 경우에 그 돌출부를 표시한 것이다. (e) *Partial Geometry*는 면의 어느 한정된 범위를 나타내며, 데이텀 표적(*datum target*) 등이 지정된다. *Face*와 달리 이러한 *Functional Geometry*는 솔리드 모델의 데이터 구조에 존재하지 않으므로, 별도의 표현이 필요하다.

3.2.2 Functional Geometry의 표현

*Partial Geometry*를 제외한 *Functional Geometry*는 중심축이나 중심평면을 갖는 특징형상과 관련하여 정의된다. 즉, 이들은 정의된 특징형상 중 *POCKET*, *HOLE*, *SLOT* 특징형상과의 연관성 및 몇 가지 변수로 표현된다. Fig. 4에 나타난 바와 같이, *Center Plane*과 *Pattern*, *Common Center*는 관련된 특징형상(*feat_i*, *i=1,2,...,m*)과 부가적 형태(*subtype*)의 지정에 의해서 표현되며, *Projection*은 관련된 특징형상과 돌출 거리(*projected distance*)로

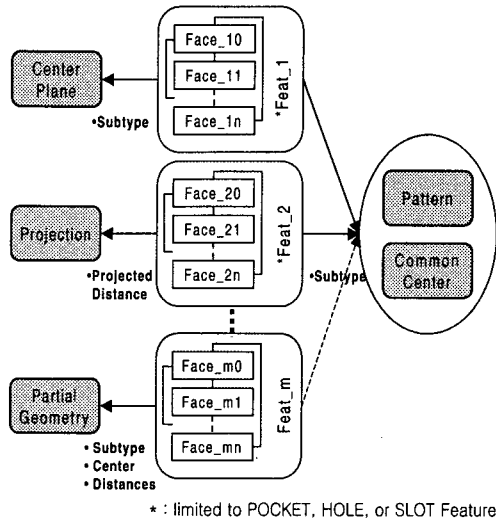


Fig. 4 Relationship between functional geometries and milling features

Table 1 FUNC_GEO table

Field Name	Description
FG_ID	Functional geometry index
FG_TYPE	Functional geometry type
SUBTYPE	Functional geometry subtype
REF FEATURE	Reference feature
FEATURES	Related features
PROJECT DIST	Projected distance
CENTER	Coordinates of a partial center
DISTANCES	Distances of partial area

표현된다.

Partial Geometry는 하나의 면과 관련하여 정의되므로, 모든 특징형상에서 그 구성면의 한정된 범위로 표현할 수 있다. 이를 위해서는 관련된 특징형상과 함께 부가적 형태, 그리고 위치와 크기를 나타내는 변수(center, distances)를 필요로 한다.

Table 1은 정의된 Functional Geometry를 표현/저장하는 FUNC_GEO 테이블이다. 예를 들어, HOLE01_1 특징형상에 대하여 축방향으로 +10mm 거리에 돌출 공차역을 지정하고자 한다면, FG_ID = x(일련번호), FG_TYPE = "Projection", REF_FEATURE = "HOLE01_1", PROJECT_DIST = +10 이 테이블에 저장된다(이 때, 나머지 변수는 모두 NULL 값을 갖는다).

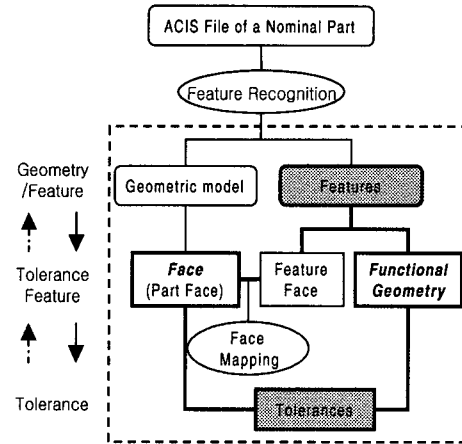


Fig. 5 Structure for representing tolerance information

Table 2 TOLERANCE table

Field Name	Description
TOL_ID	Tolerance index
TOL_TARGET	Tolerance feature
TARGET TYPE	Geom. 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

3.3 특징형상과 공차정보의 연계

Fig. 5는 특징형상과 공차정보의 연계 구조를 보여주고 있다. ACIS 파일에 대한 특징형상인식 결과를 입력받은 후, 공차특징형상인 (i)솔리드 모델의 면(part face), Face와 (ii)특징형상을 이용하여 표현된 Functional Geometry에 공차를 지정한다. Face에 지정된 공차는 매핑되어 있는 특징형상의 구성면(feature face)을 포함한 특징형상과 연계되고, Functional Geometry에 지정된 공차는 관련된 특징형상(Table 1의 REF_FEATURE 및

FEATURES)에 연계된다. 즉, 특징형상과 공차정보의 연계는 공차특징형상을 매개로 하여 이루어진다.

지정된 공차는 형상정보와 독립적인 구조의 TOLERANCE 테이블(Table 2)에 저장되며, 공차표준에서 제시하는 모든 공차정보는 이를 통해 표현된다.

Fig. 6은 특징형상과 공차정보의 연계를 위한 데이터베이스의 E-R(Entity-Relation) 다이어그램을 보여주고 있다. 여기에서 FEAT_VOLUME 테이블은 특징형상의 형상정보를 저장하고 있으며, FTP

테이블은 솔리드 모델의 면과 특징형상 구성면의 연계정보를 저장하고 있다. 이 두 테이블의 내용은 FAPPS의 '특징형상인식' 모듈에서 제공한다.

본 연구에서 제안한 공차정보의 표현 구조는 Functional Geometry에 대한 공차 지정이 가능하다는 점에서 FAPPS를 발전시킨 것이다.

4. 구현 및 적용

4.1 공차 모델러 구현

공차 모델러는 ACIS 커널(kernel) 5.0과 Visual C++6.0을 이용하여 구현되었으며, 관계형 데이터베이스로는 ORACLE 7.3을 이용하고 있다.

공차 모델러는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 Model_View, FG_Creation, 그리고 Tol_Specification으로 구성된다. (a) Model_View는 솔리드 모델(geometric model)과 특징형상(feature), 그리고 특징형상 목록(feature list)을 보여주며, Functional Geometry를 표현하거나 공차를 지정할 때 특징형상 및 솔리드 모델의 면과 직접 인터페이스를 한다. (b) FG_Creation은 Model_View에 나타난 특징형상과 인터페이스하여 Functional Geometry를 표현한다. (c) Tol_Specification은 각각의 공차특징형상에 공차를 지정한다. (b)와 (c)는 각각 Table 1

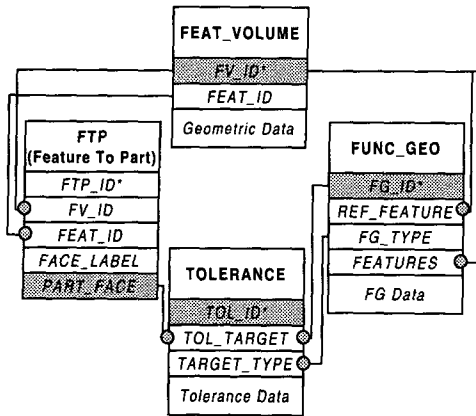
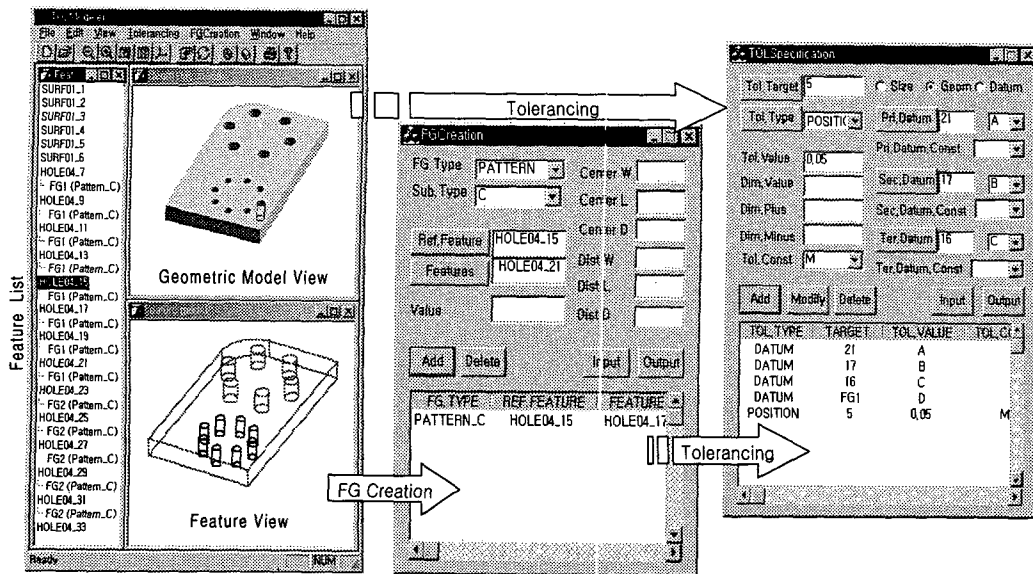


Fig. 6 E-R diagram for associating tolerances with milling features



(a) Model_View window (b) FG_Creation window (c) Tol_Specification window

Fig. 7 Windows of the tolerance modeler

과 Table 2의 각 필드(field)를 채우는 과정이다.

공차가 지정되면, 공차 모델러는 공차특징형상의 기하학적인 정보를 추론하여 *Functional Geometry* 및 데이텀 형상의 유효성, 지정된 공차의 적법성, 데이텀 기준 좌표계 설정의 적합성에 대하여 별도의 검사를 수행한다.

4.2 적용 결과 및 고찰

치수공차와 기하공차(직각도, 위치도, 편평도), 그리고 데이텀이 설정된 Fig. 8의 예제 도면에 대하여 본 연구에서 제안한 공차 모델러를 적용하였다. *Functional Geometry*의 표현 및 특징형상과 공차정보의 연계가 제대로 이루어졌는지를 판단하기 위하여, 데이터베이스 테이블들에 저장된 내용을 다음과 같이 해석하였으며, 이를 Fig. 9로 요약하였다.

- 데이텀 A, B와 편평도는 Plane에 지정되었으며, 이들은 각각 SURF01_1, SURF01_3, SURF01_6 과 연계된다(Fig. 9에서 (i), (ii), (v)).

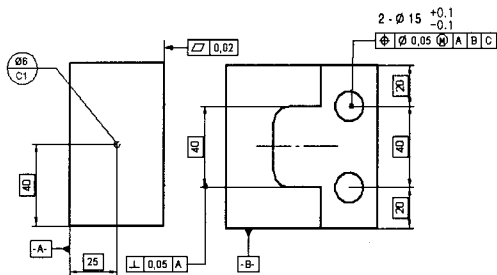


Fig. 8 An example drawing

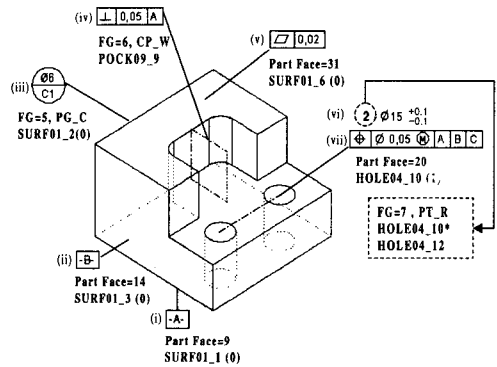


Fig. 9 Result of tolerancing for the example drawing

- 데이텀 표적 C1은 Partial Geometry(PG_C)에 지정되었으며, SURF01_2 특징형상과 연계된다(Fig. 9에서 (iii)).
- 직각도는 Center Plane(CP_W)에 지정되었으며, POCK09_9 특징형상과 연계된다(Fig.9에서 (iv)).
- 치수공차와 위치도는 동일한 Cylindrical Surface에 지정되었으며, HOLE04_10 특징형상과 연계된다(Fig.9에서 (vi), (vii)). 그리고, HOLE04_10 특징형상과 Pattern(PT_R)을 이루는 HOLE04_12 특징형상도 동일한 공차정보를 갖는다.

또한, 직각도 지정에서 공차가 지정되는 Center Plane과 평행한 면(데이텀 B가 설정된 면)을 데이텀으로 설정하는 것과 같이 잘못된 공차 지정을 임의로 수행하여 공차 모델러의 검사 기능을 시험하였다. 이 경우, 공차 모델러는 다음과 같은 검사를 수행한 후, Fig. 10에 나타난 바와 같이 공차가 잘못 지정된 내역을 사용자에게 보고하였다.

- *Functional Geometry*의 유효성 : Center Plane은 직각도 지정에 대하여 유효한 형상이다.
- 데이텀 형상의 유효성 : Plane은 직각도의 데이텀으로 유효한 형상이다.
- 지정된 공차의 적법성 : 직각도가 직교하지 않는 데이텀을 참조하므로, 적법하지 않다.
- 데이텀 기준 좌표계 설정의 적합성 : 단독 데이텀에 대해서는 검사하지 않는다.

위에서 확인한 공차 모델러의 적용 결과는 다음과 같으며, 이는 3.1 절에서 서술한 공차 모델러의 기능적 요구사항을 만족시킨다.

- 공차가 지정되는 *Functional Geometry*들을 표현하였다.

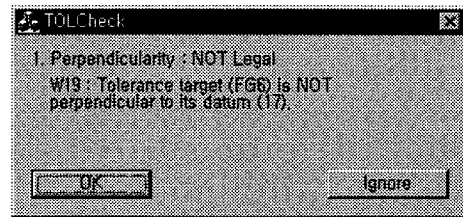


Fig. 10 Notification of an incorrect tolerance specification

- Face들과 *Functional Geometry*들에 예제 도면과 동일한 공차를 지정/저장하였다.
- 공차정보를 특징형상과 연계시켰다.
- 잘못된 공차 지정을 검사하여 그 내용을 보고하였다.
- GUI를 제공한다.

5. 결 론

특징형상에 기반한 자동공정설계를 효과적으로 수행하기 위하여 특징형상과 공차정보를 연계시키는 공차 모델러를 제안하였으며, 그 특징은 다음과 같다.

(1) 특징형상을 이용하여 솔리드 모델의 데이터 구조에 나타나지 않는 *Functional Geometry*를 표현함으로써, 솔리드 모델의 형상요소만을 지원하는 기존의 공차 지정/저장 방식을 개선하였다.

(2) 형상정보와 공차정보를 독립적인 구조로 관리함으로써 데이터 구조의 효율성을 높였으며, 별도의 검사 기능을 추가하여 적합한 공차가 지정되도록 하였다.

향후 연구로는 제안된 공차 모델러를 자동공정 설계 시스템인 FAPPS에 통합하여 그 성능을 평가하여야 하며, *Functional Geometry*의 표현 과정을 좀더 사용하기 용이하도록 개선하여야 한다.

참고문헌

- (1) Shah, J. J., and Mantyla, M., 1995, *Parametric and Feature-based CAD/CAM*, John Willey and Sons.
- (2) Ha, S., Hwang, I., Lee, K., and Rho, H. M., 1999, "Tolerance Representation Scheme for Integrated Cutting Process and Inspection Planning," *Proc. of the 6th CIRP Int'l Seminar on Computer-Aided Tolerancing*, pp. 131~138.
- (3) Brown, C. W., Kirk, W. J., Simons, W. R., and Brooks, S. L., 1994, "Feature-Based Tolerancing for Advanced Manufacturing Applications," *Applications in Manufacturing and Services Industries*, MACIS.
- (4) Guilford, J., and Turner, J., 1993, "Representational Primitives for Geometric Tolerancing," *Computer-Aided Design*, Vol. 25, No. 9, pp. 577~586.
- (5) 노형민 외, "FAPPS (Feature-based Automatic Process Planning System) 개발," 한국CAD/CAM 학회학술발표회 논문집, pp. 425~431.
- (6) 이충수, 노형민, 1997, "밀링 공정설계의 특징형상 데이터 모델," 대한기계학회 논문집(A), 제 21권 제2호, pp. 209~216.
- (7) 최호선, 1997, *ANSI, KS, ISO* 규격에 의한 기하공차, 성안당.
- (8) Kim, Y. S., and Waco, D., 1994, "Geometric Reasoning for Machining Features Using Convex Decomposition," *Computer-Aided Design*, Vol. 6, No. 6, pp. 477~489.
- (9) Shah, J. J., and Miller, D. W., 1990, "A Structure for Supporting Geometric Tolerances in Product Definition System for CIM," *Manufacturing Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 23~31.
- (10) Burkett, W. C., 1985, "PDDI Approach to Dimensioning and Tolerancing a Solid Model," *Proc. in Dimensioning and Tolerancing Workshop*, CAM-I, Inc..