

사출금형부품의 특징형상의 분류 및 표현방법의 개발

경영민*, 류광렬**, 정영득***, 조규갑*

Feature Classification and Representation Method for Components of Injection Mold

Young-Min Kyoung*, Kwang-Ryel Ryu**, Yeong-Deug Jeong***, Kyu-Kab Cho*

ABSTRACT

This paper describes a hierarchical structure for feature definition and classification, and feature representation method based on frame structure for process planning of prismatic machined components of injection mold. The concept of Volume Removal Directions and Vertical Faces is proposed to develop a method to define and to classify features for components of injection mold systematically. A method for classifying features by the combination of volume removal directions and vertical faces is developed, and also a feature representation method by using frame structure to represent design and manufacturing information is presented.

Key Words : Feature, Feature Classification, Feature Representation

1. 서 론

최근에 제품의 설계와 제조의 동기화를 위해 제품설계 및 공정설계 분야에서 동시공학(concurrent engineering)의 개념을 도입한 부품의 특징형상(feature)에 의한 접근방법이 중요한 과제로 대두되고 있다.

CAD/CAM 통합을 위한 정보전달 매체로서의 특징형상은 CAPP 시스템의 입력 데이터로서 중요한 기능을 수행한다.

기계부품가공을 위한 공정계획시스템의 입력정보는 일반적으로 CAD 시스템 내에 있는 설계정보를 분석하여 공정계획시스템에 적합한 형태의 데이터로 변환하여

* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터, 기계기술연구소, 산업공학과

** 부산대학교 컴퓨터공학과

*** 부산공업대학교 금형공학과

입력하는 방법을 채택하여 왔다. 그러나 이러한 방법에서는 부품을 구성하는 특징형상에 대한 정보를 얻기 위해 데이터 추출 및 특징형상 인식을 위한 알고리즘의 개발이 필요하며, 그 결과는 알고리즘의 효율성에 크게 좌우되는 문제점을 가지고 있다. 설계 및 제조분야에 있어서 특징형상의 적용에는 특징형상 인식(feature recognition)과 특징형상에 의한 설계(feature based design)의 두 가지 분야가 있으며[1], 이 두 방법을 효과적으로 수행하기 위해서는 특징형상에 관한 명확한 정의와 분류가 필요하다. 따라서 설계와 제조에 공통으로 사용될 수 있는 통합화된 데이터 표현방법에 대한 연구의 필요성이 대두되었으며, 이에 따라 특징형상에 기초를 둔 특징형상 표현(feature representation)에 대한 연구가 요구되고 있다.

특징형상의 분류와 적용에 관해서는 여러 연구에서 다루어져 왔다. Butterfield 등의 연구[2]에서는 특징형상을 기하학적 형상 축면에 초점을 두어서 'form feature'로 지칭하였으며, 특징형상을 박판 특징형상(sheet features), 비회전 특징형상(non-rotational or prismatic features) 및 회전 특징형상(rotational features)의 3가지로 분류하였다. Pratt와 Wilson의 연구[3]에서는 특징형상의 기하학적인 세부사항들이 완전히 정의되는 명시적 특징형상(explicit features)과 특징형상의 정의에 필요한 정보가 충분하게 제공은 되지만 완전한 기하학적 세부사항들이 필요할 때는 계산을 통해 얻을 수 있는 묵시적 특징형상(implicit features)의 두 가지 형태로 특징형상을 크게 분류하였다. 이를 연구는 특징형상의 외형상의 형태 또는 표현에 있어서 정보구성에 의해 기준에 정의되어 있는 특징형상을 단지 몇 가지의 부류로 나눈 것으로 간주되며, 특징형상의 구체적인 분류방법에 관한 이론적인 전개가 결여되어 있다.

Suh 등의 연구[4]에서는 두 프리미티브(primitives)를 대상으로 경계요소(boundary components)를 생성하여 convexity analysis를 수행한 결과와 교차변 루프(intersection edge loop)의 convexity를 고려하여 설계과정의 수행 도중에 돌출(protrusion) 또는 함몰(depression)된 특징형상을 동적으로 생성하는 방법론을 제시하고 있다. 이 방법에서는 특징형상의 수정절차에 의해 특징형상간의 간섭현상을 해결할 수 있어 동시공학 환경에서의 특징형상에 근거한 모델링(feature based modeling)에 효과적이지만, 표현

할 수 있는 특징형상의 종류가 제한되어 있어 실제 적용에 한계가 있고, 특징형상의 체계적인 분류방법에 대해서는 언급되어 있지 않다.

Gindy[1]는 특징형상을 entry boundary, exit boundary 및 depth boundary로 구성되는 제한된 체적(bounded volume)으로 간주하고, 특징형상에 대한 외부접근방향(External Access Direction: EAD)의 수와 특징형상의 perimeter의 타입(open 또는 closed) 및 exit boundary의 상태(through 또는 not through)의 3가지 패러메타를 이용하여 보스, 포켓, 구멍 등 9가지의 주특징형상(primary features)으로 분류하였다.

본 연구에서는 사출금형부품을 대상으로 하여 공정설계의 입력으로써 사용이 가능한 특징형상의 표현방법을 개발하기 위하여, 특징형상의 체계적인 분류방법과 표현방법에 대해 연구한다. 가공에 의해 제거되는 소재의 체적제거방향과 그에 따른 수직면의 개념을 정의하고, 이 두 가지 패러메타의 조합에 의해 특징형상을 분류하는 새로운 방법을 제안한다. 또한 분류된 특징형상에 관련되는 기하학적 형상, 위치, 크기 등의 형상정보와 공차, 정밀도 등의 가공기술정보를 효과적으로 표현할 수 있도록 특징형상을 프레임 구조로 표현하는 방법론을 제시한다.

2. 특징형상 분류방법의 개발

2.1 특징형상의 정의 및 기하학적 표현

특징형상의 정의에 대해서는 많은 연구결과에서 언급되고 있으며[5~8], 특징형상은 일반적으로 설계 또는 제조의 관점에서 정의되고, 적용하고자 하는 영역에 대한 의존성이 크다는 특성을 가진다.

지금까지의 연구에서는 설계특징형상과 제조특징형상을 분류하는 명확한 체계가 정립되어 있지 않았기 때문에, 적용영역에 따라 나름대로의 특징형상을 정의하는 방법을 취하였다. 또한, 형상, 절차, 정보의 타입 및 설계에서의 역할 등에 따라 특징형상을 분류하기도 하며[5], 이러한 기준에 따른 분류는 실제적으로 설계 또는 제조특징형상의 속성으로 표현될 수 있는 성격을 가진 것들도 부분적으로 포함하고 있다. 정보의 타입에 따라 분류되어지는 특징형상으로는 허용공차를 나타내는 정도특징형상(precision features), 재료의 구성이나 처리방법을 설명하는 재료특징형상(material fea-

tures), 기술적인 제약조건 등을 설명하는 기술적 특징 형상(technological features) 등이 있으며, 이들 특성은 특정형상의 속성으로서 표현할 수가 있다.

본 연구에서 특정형상은 “부품형태를 서술하기 위한 기하학적 및 위상학적 패턴으로, 기하학적인 형상정보와 가공기술적인 비형상정보를 속성으로 가지며 설계 또는 가공대상이 되는 기본적인 형상요소”라고 정의한다.

본 연구에서는 사출금형부품을 대상으로 하여 기계가 공의 특성인 체적제거공정(volume removal process)을 지향한 특정형상의 표현방법을 제시한다. 소재의 형상은 직육면체 형상으로 간주한다.

(1) 체적제거방향

기계가공은 원소재의 일부를 절삭가공에 의해 제거하는 과정이며, x, y, z 직교좌표축을 기준좌표계로 한 체적제거방향(Volume Removal Directions, VRDs)의 개념을 특정형상의 분류에 적용한다. 체적제거방향은 “원소재에서 제거될 형상을 체적과 형상의 변형없이 원상태로 유지하면서 x, y, z 축의 양(+) 또는 음(-)의 방향으로 제거할 수 있는 가능한 방향”이라고 정의한다.

[체적제거방향 집합의 정의]

체적제거방향 집합 S(VRDs)는 x, y, z 축 각각의 양(+) 또는 음(-)의 방향으로의 체적제거의 가능성을 나타내는 인덱스들의 집합으로 정의한다. 즉,

$$S(\text{VRDs}) = \{r_{x+}, r_{x-}, r_{y+}, r_{y-}, r_{z+}, r_{z-}\}$$

여기서,

r_{ij} : 체적제거의 가능성을 나타내는 인덱스로서, i 축의 j 방향으로 체적제거가 가능한 경우에는 1, 불가능한 경우에는 0으로 나타냄

i : x, y 또는 z 축을 표시하는 인덱스

j : 양(+) 또는 음(-)의 방향을 표시하는 인덱스

S(VRDs)의 요소 중에서 “1”의 값을 가지는 요소의 수를 ‘가능한 체적제거방향의 수(the number of feasible volume removal directions)’라고 하고, #(VRDs)로 나타낸다. Fig. 1에 나타낸 관통슬롯(through slot)의 경우에 가능한 체적제거방향은 Y+,

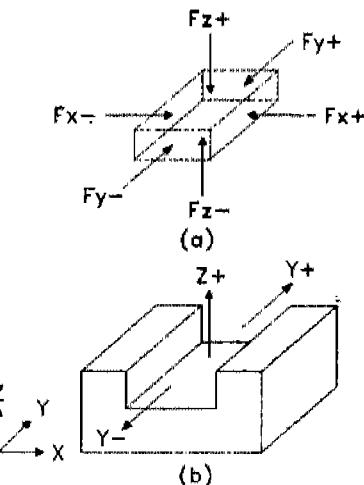


Fig. 1 VRDs and VFs of Through Slot

Y- 및 Z+의 3가지이며, $S(\text{VRDs})=\{0, 0, 1, 1, 1, 0\}$ 으로 표시되고, 따라서 #(VRDs)=3이다.

(2) 수직면

가능한 체적제거방향의 수와 함께 특정형상의 분류에 사용되는 패러메타로서 수직면(Vertical Faces, VFs)의 개념을 도입한다. 수직면은 ‘각각의 체적제거방향에 대응하는 형상구성면의 쌍’이라고 정의한다. Fig. 1에서 가능한 체적제거방향의 한 요소인 ‘z+’ 방향의 경우를 예를 들면, 수직면은 면 $Fz+$ 와 면 $Fz-$ 로 구성되며, 특히 면 $Fz+$ 를 진입면(entering face), 면 $Fz-$ 를 지지면(supporting face)이라고 부른다.

[진입면과 지지면의 정의]

임의의 가능한 체적제거방향과 방향이 반대인 하나의 방향벡터 d를 고려한다. 벡터 d가 방향의 변동없이 진행할 때, 벡터 d의 연장선과 교차하며 마주보는 두 형상구성면에 대해

- 벡터 d와 최초로 교차하는 형상구성면을 ‘진입면(entering face)’
 - 벡터 d와 마지막으로 교차하는 형상구성면을 ‘지지면(supporting face)’
- 이라고 정의하며, 이 때 진입면과 지지면의 순서쌍은 ‘임의의 가능한 체적제거방향에 대응하는 수직면(vertical faces)’을 구성한다.

수직면은 하나의 체적제거방향에 대해 진입면과 지지면의 순으로 배열되는 순서쌍으로 표현하며, 가능한 체적제거방향에 대한 모든 수직면의 집합을 $S(VFs)$ 로 표시하면 다음과 같이 정의할 수 있고, 수직면 집합에는 가능한 체적제거방향에 대응되는 수직면 요소만 포함된다.

[수직면 집합의 정의]

$$S(VFs) = \{(f_e, f_s)^{x+}, (f_e, f_s)^{x-}, (f_e, f_s)^{y+}, (f_e, f_s)^{y-}, \\ (f_e, f_s)^{z+}, (f_e, f_s)^{z-}\}$$

단, f_e : 진입면

f_s : 지지면

$x^+, x^-, y^+, y^-, z^+, z^-$: 가능한 체적제거방향

$f_e, f_s = R$ (실체면) 또는 I (가상면)

본 연구에서는 '고려하고자 하는 체적제거방향의 반대방향으로 진행할 때 최초로 만나는 점을 포함하는 형상구성면(진입면)과 특징형상을 벗어나는 점을 포함하는 형상구성면(지지면)의 실질적인 존재여부를 나타내는 성질'을 수직면의 면특성(surface characteristics)이라고 정의하며, 이 정의에 따르면 수직면을 형성하는 각 형상구성면은 가공 후에 해당면이 솔리드로 남는 경우(real solid face)와 제거되어 빈 공간이 되는 경우(imaginary face)의 2가지로 나뉘어진다. 따라서 수직면 집합 $S(VFs)$ 의 각 요소는 (R, R) , (I, R) 또는 (I, I) 중에서 하나의 형태로만 존재하며, 진입면이 R (Real Surface)이고 지지면이 I (Imaginary Surface)임을 나타내는 (R, I) 의 형태로는 존재할 수가 없다.

2.2 특징형상의 분류방법

체적제거방향 집합과 수직면 집합에 속하는 각각의 요소들의 조합에 근거하여 특징형상을 분류할 수 있다. 즉, 가능한 체적제거방향의 수와 수직면(진입면 및 지지면)의 면특성(surface characteristics)의 조합에 따라 보스, 포켓, 스텝, 슬롯, 구멍, 평판 및 면 등의 특징형상을 정의할 수 있다.

임의의 형상을 체적과 형상의 변동없이 x , y , z 의 세 축을 따라 제거할 수 있는 체적제거방향은 각 축의 양 또는 음의 방향에 의해 최대 6가지 방향으로 한정된다.

다. 체적제거방향 집합을 구성하는 6개 요소 중에서 임의의 한 축의 양 및 음의 방향에 대응되는 요소순서쌍들(elementary ordered-pairs)을 '체적제거방향 순서쌍'이라고 하면, 이 순서쌍은

$$S(VRDs) = \{(r_{x+}, r_{x-}), (r_{y+}, r_{y-}), (r_{z+}, r_{z-})\}$$

와 같이 동일한 축에 대한 항끼리 괄호로 묶어 표시한 것이 되며, 이들은 아래와 같은 성질을 가진다.

[체적제거방향 순서쌍의 성질]

- i) 체적제거방향 집합에 $(1, 1)$ 의 형태를 취하는 임의의 순서쌍이 단 하나 존재하면, 그 특징형상은 '관통형 특징형상(through-type feature)'이다.
- ii) 체적제거방향 집합에 $(1, 1)$ 의 형태를 취하는 임의의 순서쌍이 두 개가 존재하면, 그 특징형상은 '평판 특징형상(plain-plate feature)'이다.
- iii) 체적제거방향 집합에 속하는 모든 순서쌍이 $(0, 0)$ 의 형태를 취하면 그 특징형상은 '면 특징형상(surface feature)'이다.
- iv) 체적제거방향 집합이 iii)에 해당되지 않으면서 $(1, 1)$ 의 형태를 취하는 순서쌍이 하나도 없이 $(1, 0)$, $(0, 1)$ 또는 $(0, 0)$ 의 형태를 취하는 순서쌍들의 조합을 이루면 그 특징형상은 '비관통형 특징형상(blind-type feature)' 이거나 또는 '돌출 특징형상-보스(protrusion feature-boss)'이다.

이상에서 기술한 정의 및 성질을 살펴보면 체적제거방향은 대상으로 하는 형상이 관통형인지 비관통형(면, 평판 포함)인지를 판단하는데 사용될 수 있으며, 수직면은 스텝, 슬롯, 구멍, 포켓 등과 같이 보다 세부적인 형상을 판단하는 데에 사용될 수 있다. 즉, $S(VRDs)$ 의 $(1, 0)$ 또는 $(0, 1)$ 요소에 대응하는 $S(VFs)$ 의 요소 중에서 (I, R) 형태를 취하는 요소의 수와 $\#(VRDs)$ 의 조합에 의해 특징형상을 정의할 수 있으며, $S(VRDs)$ 의 $(0, 0)$ 와 $(1, 1)$ 요소에 대응하는 $S(VFs)$ 의 요소는 특징형상의 정의에 직접적인 관계가 없다. 따라서 이와 같은 개념을 적용하여 특징형상을 정의하는 과정을 도식적으로 나타내면 Fig. 2와 같으며, 그림의 화살표는 가능한 체적제거방향을 표시한 것이다.

Fig. 2에서 보인 특징형상의 정의방법을 정리하면,

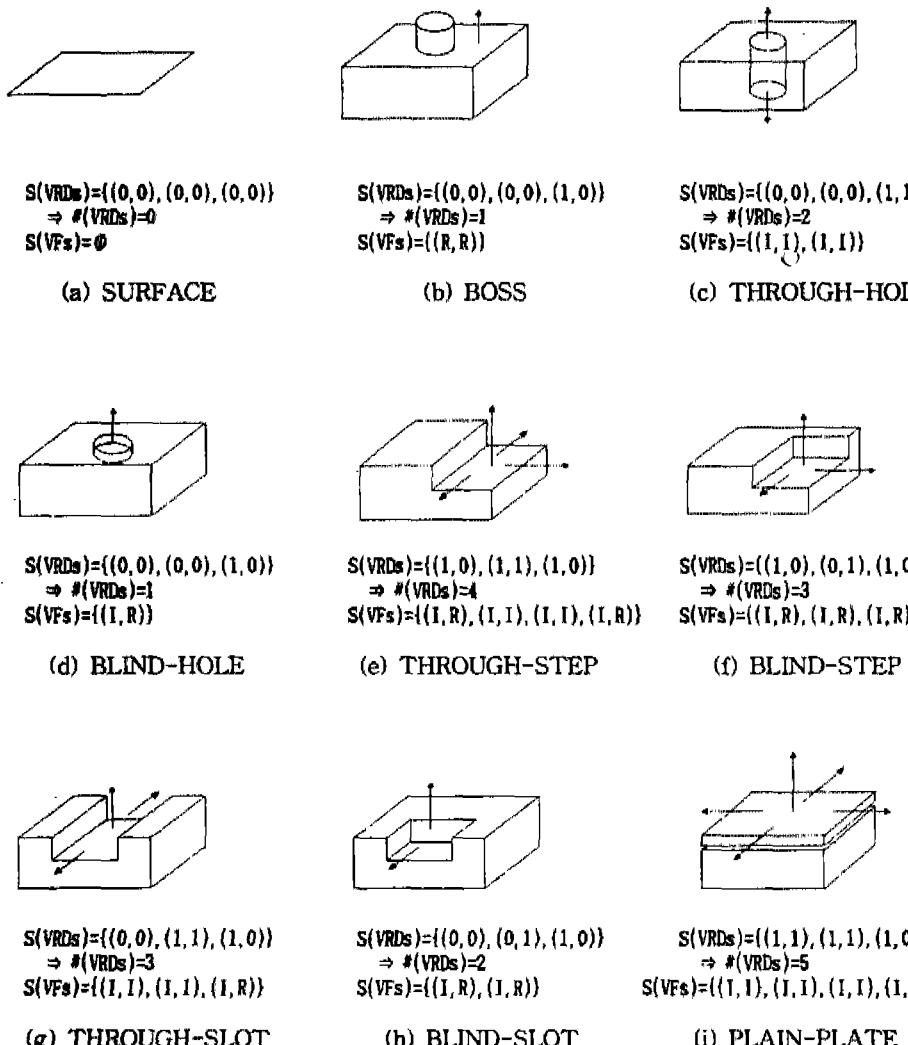


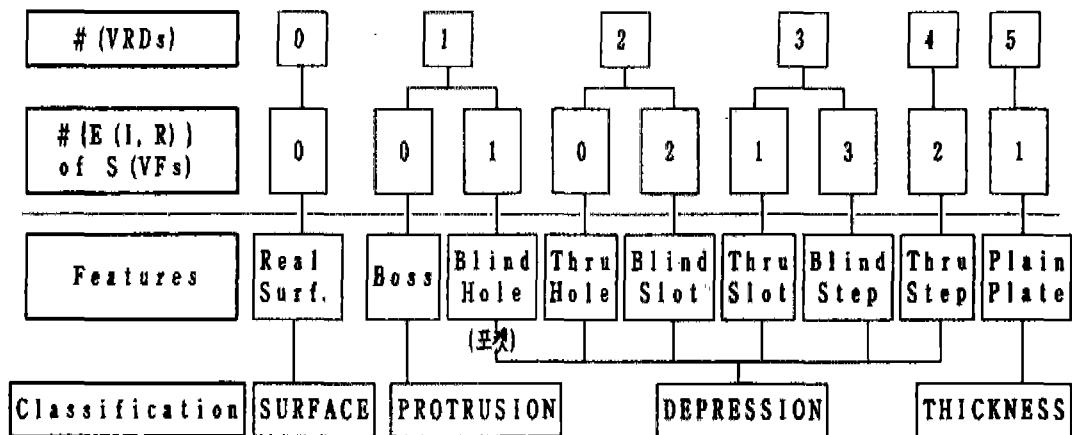
Fig. 2 Definition of Features

체적제거방향의 수와 그에 따른 수직면 집합의 (I, R) 요소의 갯수로부터 Fig. 3과 같은 특징형상의 분류법을 얻을 수가 있다. x, y, z 직교좌표축의 양과 음의 방향에 따라 체적제거방향의 수는 최대 6으로 주어지지만, 체적제거방향의 수가 6인 경우에는 가공에 의해 이루어 질 수 있는 형상을 나타낼 수가 없기 때문에 특징형상으로 정의될 수가 없으므로, $\#(VRDs)$ 는 '0~5'의 값을 가진다. 그리고 평판(plain plate)은 밀링 등의 가

공방법에 의한 원자재의 평삭가공부분을 의미한다.

3. 특징형상의 표현

사출금형을 대상으로 공정설계를 위한 특징형상의 표현방법에 대해 고찰한다. 일반적으로 금형 한 벌이란 가동축 형판, 고정축 형판, 가동축 설치판, 고정축 설치판, 스트리퍼 플레이트 등과 같이 여러 개의 판류



※ 약어설명

- #(VRDs) : 체적제거방향의 수
- S(VFs) : 가능한 체적제거방향에 대응하는 수직면의 집합
- #(E(I, R)) : 입의의 수직면의 진입면은 가상의 면, 지지면은 실제의 면인 요소의 수

Fig. 3 Feature Taxonomy

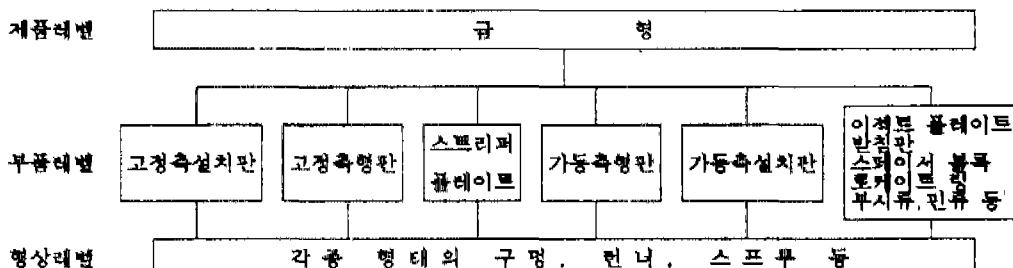


Fig. 4 Composition of Injection Mold

(plates)로 구성된 금형부품 전체를 일컫는다. 금형이라는 하나의 제품을 고려할 때, 각 판류는 금형을 구성하는 부품으로 간주할 수 있으며, 이 판류에 런너, 가이드핀 구멍, 보울트 구멍, 스프루트 등의 형상들이 가공 또는 조립됨으로써 금형이 만들어진다. 이와 같이 금형을 '제품-부품-형상'의 레벨로 구분하면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있으며, 각 레벨에 따라 공정설계에 필요 한 정보를 분리하여 프레임 구조로 표현할 수 있다.

Fig. 4에서 금형의 제품레벨의 정보는 제품 프레임에, 부품레벨의 정보는 부품 프레임에, 판류 등에 정의 되는 형상에 관한 정보는 특징형상 프레임 및 보조특징 형상 프레임에 기술한다. 이 외에 공정설계의 수행에 관련한 규칙이나 절차 등을 별도의 절차 프레임을 작성

하여 기술한다. 이로써 금형부품을 구성하는 특징형상 정보를 계층구조로 표현하고, 이 정보구조를 특징형상에 의한 설계환경에서의 공정설계의 입력으로 사용한다.

3.1 제품 프레임

제품 프레임(Product Frame)에는 Fig. 5와 같이 금형 전체에 관한 정보가 포함되며, 금형의 크기, 무게 및 금형을 구성하는 판류 등이다.

3.2 부품 프레임

부품 프레임(Part Frame)은 Fig. 6과 같이 금형부품, 즉 판류에 관련되는 일반적인 정보를 포함하며, 도

면번호, 부품번호, 부품명, 부품식별번호, 재질, 크기, 일반공차, 표면처리 및 열처리방법 등에 관한 내용이 기술된다. 부품 프레임의 Including_features 속목에는 판류에 형성되는 특징형상들이 기술된다. 예를 들어, 한 부품에 속하는 임의의 특징형상 A가 다른 특징형상 B를 포함하는 경우에는 부품 프레임의 "Including_features" 속목에 특징형상 A의 식별자 feature_id 만 기술하고, 특징형상 A에 관한 정보는 별도의 특징형상 프레임을 작성하여 기술한다. 또한 특징형상 프레임의 "Child_features" 속목에는 특징형상 B의 식별자를 기술하고, 특징형상 B에 관한 정보는 또 다른 특징형상 프레임을 작성하여 상세정보를 기술한다.

3.3 특징형상 프레임

특징형상 프레임(Feature Frame)은 판류에 형성되는 특징형상들에 대한 상세정보를 포함하며, Table 1과 같이 특징형상의 이름, 타입, 식별자, 진입면과 지지면의 위치·크기 데이터, 가공기준면, 공차, 정밀도, 부모·자식·보조·그룹 특징형상 및 절차정보 등을 기술된다.

임의의 특징형상의 기하학적인 형상에 대한 정보는

frame: Mold-001
Product_name: sample_product
Part_type: 3단
size: Ax, Ay, Az
weight: value
parts: locating_ring, plate1, plate2, ...

Fig. 5 Product Frame

frame: plate2
frame: plate1
Drawing_number: D001
Part_number: P101
Part_name: cavity_plate
Part_id: part_identifier
material: SW45C
material_size: Ax, Ay, Az
Hardness: value
General_tolerance: value
Heat_treatment: (do)
Surface_treatment: (do)
Including_features: (f1, f2, f3, ...)
일반면위작업: (nil)
기준좌표: (0, 0, 0)

Fig. 6 Part Frame

수직면을 구성하는 진입면과 지지면의 기준위치 및 크기에 의해 표현된다. 실제 설계과정에서는 특징형상의 진입면에 대한 기준위치 좌표값에 구배(경사각도)와 높이를 지정함으로써 치수를 작성하는 경우도 있다. 기준위치 좌표값은 특징형상의 진입면 또는 지지면의 모서리나 원점의 좌표값을 말하며, 이 좌표값은 모체의 기준좌표점에 대한 상대위치로 표시한다. 예를 들어, 기준좌표점의 좌표값을 (0, 0, 0)이라고 지정하는 경우에, 포켓 특징형상의 진입면의 데이터는 임의의 한 정점좌표값 (x_e , y_e , z_e)와 이 정점으로부터 대각위치에 있는 정점까지의 변의 길이 (Δx_e , Δy_e)로 표현되며, 구멍 특징형상의 진입면은 원점의 좌표값 (x_e , y_e , z_e)와 반경 (Δr_e)로 표현된다. 각 특징형상에 대응되는 지지면의 데이터는 위와 동일한 방법으로 표현하거나 또는 진입면과 지지면의 서로 대응되는 변을 연결하는 면의 기울기와 진입면과 지지면 사이의 거리로서 표현할 수가 있다.

이와 같이 가능한 체적제거방향이 x, y 또는 z 축 방향과 평행한 경우(수직한 특징형상)가 아니고, 실제로는 가능한 체적제거방향이 2개 또는 3개의 축에 대해 경사각을 가지는 경우가 존재할 수 있으며, 이러한 특징형상을 본 연구에서는 '경사진 특징형상'이라고 부른다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 사출금형부품의

Table 1. Examples of Information on Features

속성	설명
feature_name	feature name
feature_type	feature type
feature_id	feature identifier
cuttering_face_coordinate	(x_e , y_e , z_e), r_e (x_e , y_e , z_e), (Δx_e , Δy_e) (x_e , y_e , z_e), r_e (x_e , y_e , z_e), (Δx_e , Δy_e)
supporting_face_coordinate	(x_e , y_e , z_e), (Δx_e , Δy_e)
machining_reference_face	(x_e^1 , y_e^1 , z_e^1) (x_e^2 , y_e^2 , z_e^2) (x_e , y_e , z_e), r_e
overall_surface_roughness	roughness value
local_surface_roughness	local_surface_roughness_value
dimensional_tolerance	($t_{d1} = d_1 + \theta_{d1} - d_{21} - d_{31}$, $t_{d2} = d_2 + \theta_{d2} - d_{22} - d_{32}$, ..., $t_{dn} = d_n + \theta_{dn} - d_{2n} - d_{3n}$)
기워치도	value
평원도	value
등축도	value
원률도	value
법률도	value
직각도	value
평행도	value
기사도	value
parent_feature	feature_name
child_features	optional_latter_features_name
secondary_features	optional_fillet, round, chamfer, 'clip', 'top', 'sharp_knot' or 'keyway'
group_features	(exist, not exist)
self_drawing_procedure	pointer
validation_check_procedure	pointer

경우에는 경사진 특징형상으로 존재할 수 있는 형상은 '경사면 구멍'이 대부분이다.

경사진 특징형상은 수직인 특징형상을 나타내는 테이타 형식으로도 판별이 가능하다. 즉, 특징형상의 진입면과 지지면의 기준위치 및 크기 정보로부터 이들 면의 '무게중심(원의 경우에는 원점좌표)'을 구할 수 있고, 이 좌표값을 비교하여 동일하지 않은 경우에 그 특징형상을 경사진 특징형상이라고 정의할 수 있다. 단, 사각형상의 포켓의 경우에 축면을 구성하는 4개의 면의 일부만 구배를 가지는 경우는 이 좌표값이 서로 동일하지 않더라도 경사진 특징형상으로 정의하지 않는다. 특징형상 프레임은 Fig. 7과 같이 나타낸다.

3.4 절차 프레임

절차 프레임에는 예를 들어 체적제거방향의 개념을 응용한 공구접근방향의 결정에 관한 규칙들이 포함될 수 있다. Fig. 1의 관통슬롯을 고려하면, 가능한 체적제거방향은 Y+, Y- 및 Z+의 3가지 방향이며, 이들 각 방향에 대응하는 공구접근방향은 Y-, Y+ 및 Z- 방향임을 알 수 있다. 실제로 공구접근방향은 Z- 방향이고, 절삭작업 도중의 공구이송방향은 Y축의 양 및 음의 방향이다. 따라서 이 관통슬롯의 경우, 다음과 같은 공구접근방향 결정규칙을 얻을 수 있다. S(VRDs) = {(0,0), (1,1), (1,0)}이므로,

```
if ( Z축의 체적제거방향 순서쌍 = (1, 0) )
```

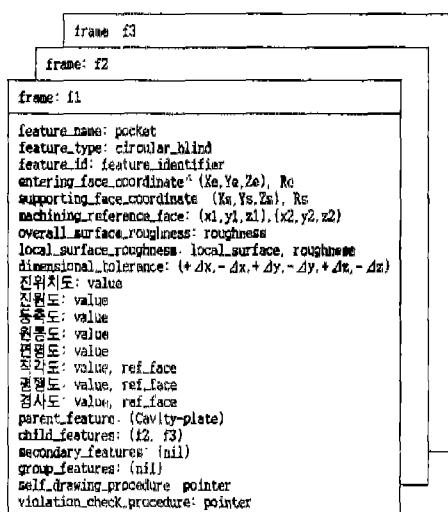


Fig. 7 Feature Frame

```

then (공구접근방향은 "Z- 방향" )
if ( Z축의 체적제거방향 순서쌍 = (0, 1) )
  then (공구접근방향은 "Z+ 방향" )
else ( 공구접근방향이 아님 )
  이와 유사한 방법으로 공작물의 고정위치를 결정하는데에도 체적제거방향의 개념을 이용할 수 있다.
  
```

4. 특징형상베이스 공정계획

공정계획에 대한 입력매체로 사용될 수 있는 특징형상의 획득은 대부분 특징형상 인식과정에 의해 이루어져 왔다. 특히 공정계획시스템은 입력데이터의 형태나 획득과정에 의해 구분될 수 있다. 즉, 특징형상베이스 공정계획은 Fig. 3의 Feature Taxonomy에 따라 계층화된 특징형상 및 그에 관련된 세부정보를 이용하므로 정보의 활용에 있어서 특징형상의 인식에 의한 방법보다 효율적이다. 또한 특징형상 인식을 위한 알고리즘의 필요성이 없어지므로 보다 강건한(robust) 시스템의 구축을 기대할 수 있다.

데이터의 획득관점에서 공정계획은 특징형상 인식방법에 의한 일반적인 공정계획과 특징형상베이스 공정계획으로 구분할 수 있으며, 이것을 도식적으로 표현하면 Fig. 8과 같다.

4.1 특징형상간의 가공우선순위 결정

특징형상에 의한 설계과정을 거쳐 형성된 제품정보는

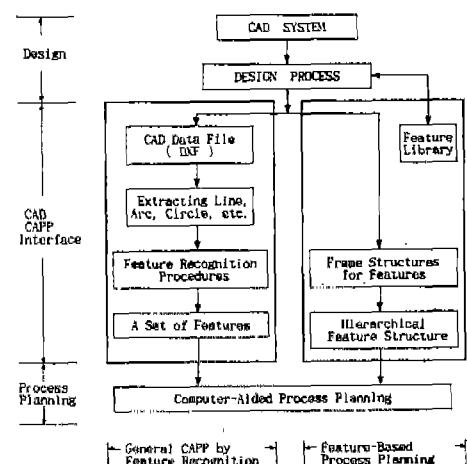


Fig. 8 Input Data for CAPP

계층적 구조를 가지는 특징형상의 집합으로 구성되며, 모든 특징형상은 각각 고유한 체적제거방향의 수를 가진다. 금형의 제작을 위한 가공공정은 실제로 원소재의 일부를 기계가공에 의해 제거해 나가는 과정이며, 체적제거방향의 수는 임의의 특징형상을 제거할 수 있는 방향의 수를 나타내므로, 가공에 있어서의 유연성(flexibility)을 나타내는 하나의 척도로 간주할 수 있다.

임의의 특징형상 f_i 의 체적제거방향의 수를 n 이라 한다. 또한 특징형상은 다른 특징형상으로 인해 고유의 체적제거방향이 제한될 수 있으므로, 체적제거방향의 가능한 수를 r 이라 둔다(단, $0 \leq r \leq n$). 즉, 특징형상 f_i 는 다른 특징형상과의 위상학적 관계에 의해 $(n-r)$ 개의 방향으로는 제거가 불가능하다. 여기서 $(n-r)$ 은 가공에 있어서의 제약정도를 나타내는 수치이며, 이를 '제약된 체적제거방향의 수'라고 부르기로 한다. 이 값이 0보다 크다는 것은 그만큼 가공방법에 제한을 받아 가공성이 저하됨을 의미하며, 따라서 가공의 유연성이 낮다고 할 수 있다. 반면에 이 값은 제약을 일으키는 특징형상이 제거되면 n 의 수준으로 회복된다. 그러므로 각 특징형상의 가공성을 보장하기 위해 가공의 유연성이 높은 특징형상을 먼저 가공하는 전략을 채택할 수 있으며, 이와 같은 논의로부터 다음과 같은 가공우선순위의 결정규칙을 얻는다.

< 특징형상간의 가공우선순위의 결정 >

정의된 모든 특징형상의 집합을 $S(F)$ 라고 하면, $S(F)$ 는

$$S(F) = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$$

단, n 은 정의된 특징형상의 수로 표시된다.

단계 i) 각 특징형상에 대해 체적제거방향의 수를 할당함

$$VRD(F_i) \leftarrow \#(VRDs) \text{ of a feature } F_i$$

단계 ii) 모든 특징형상에 대해 다른 특징형상들에 의해 체적제거방향이 제약을 받는지 확인하고 현 상태에서 가능한 체적제거방향의 수를 결정함

$$\text{possible VRD}(F_i) \leftarrow \text{the number of possible VRDs of a feature } F_i \text{ under the condition that all features are defined}$$

단계 iii) 현 단계에서 각 특징형상에 대해 '제약된 체적제거방향의 수'를 구하고, 이 값을 "bounded

#(VRDs)"라고 함

$$\text{bounded VRD}(F_i) \leftarrow \text{VRD}(F_i) - \text{possible VRD}(F_i)$$

단계 iv) bounded VRD(F_i)의 값이 0인 특징형상을 선택하여 가공공정집합 $S(O)$ 에 순차적으로 할당함(단, $S(O)$ is an ordered set of the selected features)

$$S(O) = \{ F_i \}$$

단계 v) 특징형상 F_i 를 원소재에서 제거함

단계 vi) 모든 특징형상이 집합 $S(O)$ 에 할당될 때까지 단계 ii) ~ 단계 v)를 반복함

위 결정규칙의 단계 iv)와 관련하여, bounded VRD(F_i)의 값이 0인 특징형상이 다수 존재하는 경우에는 직전에 선택된 특징형상과 동일한 특징형상을 다음 공정으로 선택한다. 만약 bounded VRD(F_i)의 값이 0인 특징형상이 포켓이고 이것이 i번째 공정으로 선택되었을 때, j번째 공정으로 임의의 다른 특징형상 F_j 가 선택되어 이것이 포켓과 인접하는 경우에는 포켓 특징형상 F_i 는 특징형상 F_j 의 후속공정으로 둔다(즉, $S(O)=\{\dots, (F_j-F_i), \dots\}$). 또한 둘다 특징형상의 한 예인 사각보스는 설계의 측면에서는 단일의 특징형상이지만, 제조의 측면에서 볼 때에는 4개의 판통스텝(through step)으로 간주한다.

4.2 특징형상가공을 위한 기계 및 공구의 선정

특징형상간의 가공우선순위를 결정한 후에는 각 특징형상의 가공방법에 대한 고려가 필요하다. 즉, 특징형상별 가공기계 및 공구의 선정이 이루어져야 하며, 이것은 정의된 설계특징형상을 제조특징형상으로 변환해 줌으로써 수행된다. 제조특징형상은 나름의 가공공정을 가지며, 따라서 이 공정을 수행할 수 있는 기계와 공구를 사전에 결정해 둘 수가 있다. 그러므로 임의의 제조특징형상이 주어지면, 그에 따라 제조특징형상과 기계 및 공구의 대응관계로부터 가공기계 및 공구를 선정할 수 있다.

설계특징형상과 제조특징형상은 서로 중복되는 것이 많으나[7], 서로 다른 경우에는 가공측면을 고려하여 대응되는 제조특징형상을 명시하고, 다시 제조특징형상에 대한 기계 및 공구의 대응관계로부터 가공기계 및 공구를 선정한다. 특히, 사각보스의 경우에는 가공의 측면에서는 4개의 through step으로 간주할 수 있다.

특징형상	Boss	Blind Hole	Thru Hole	Blind Slot	Thru Slot	Blind Step	Thru Step	Plain Plate
공정	Milling	Drilling Boring Reaming or Pocketing EDM	Drilling Boring Reaming or Pocketing EDM	Milling EDM	Milling	Milling EDM	Milling	Milling Grinding
사용기계	Milling M/C Shaper Planer	Drilling M/C	Drilling M/C	Milling M/C Shaper Planer	Milling M/C Shaper Planer	Milling M/C Shaper Planer	Milling M/C Shaper Planer	Milling M/C Grinder
공구	Milling Cutter	Drill Bore Reamer or End Mill EDM Tool	Drill Bore Reamer or End Mill EDM Tool	Milling Cutter	Milling Cutter	Milling Cutter	Milling Cutter	Milling Cutter Grinding Wheel

Fig. 9 Processes, Machines and Tools for Features

특징형상에 대응되는 가공기계 및 공구의 예를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9는 일반적으로 주어진 특징형상을 가공하는데에 사용될 수 있는 기계 및 공구를 예시한 것으로, 실제로 각 특징형상은 다양한 단면형상을 가지므로 그에 관련된 보다 세부적인 정보를 고려하여 해당되는 공정 및 이에 따른 기계와 공구를 선정한다.

5. 고찰

본 연구에서 제안한 체적제거방향의 수와 수직면의 면특성의 조합에 의한 특징형상의 분류방법에 의하면 설계와 제조의 측면을 동시에 고려한 특징형상의 정의가 가능하다. 즉, 설계기능의 수행에서는 설계특징형상을 사용한 feature based design 방법을 적용할 수 있고, 이를 이용하는 시스템에서는 체적제거라는 관점에서 특징형상에 관련된 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 특징형상을 프레임 구조로 표현함으로써 비형상 정보에 관한 데이터의 보존이 보다 효율적으로 이루어 질 수 있다.

본 연구에서 사용한 체적제거방향은 공정계획에 있어서의 공구접근방향 결정에 직접 사용될 수 있다. 비관통슬롯의 경우, 가능한 공구접근방향은 2가지이지만, 실제의 가공방향은 바닥면의 가공길이가 긴 면을 우선

으로 하여 결정되므로, 적합한 공구접근방향은 이 면에 수직인 방향이며 체적제거방향과 항상 반대의 방향을 가진다. 한편, 체적제거방향 집합의 요소로부터 공구의 이송방향을 결정할 수가 있다. 즉, S(VRDs)의 요소 중에서 (1,1)인 요소가 있는 경우는 이에 해당하는 방향으로 관통되어 있음을 뜻하므로 이것을 공구이송방향으로 결정할 수가 있다.

본 연구에서 사용된 특징형상의 분류방법과 유사한 연구로 외부접근방향(External Access Direction: EAD)의 수, 경계의 타입 및 이탈경계의 상태(exit boundary status)를 조합한 분류방법[1]이 있다. 본 연구에서 개발된 방법과 EAD에 의한 방법을 비교하기 위해 Fig. 1을 다시 고려하면, EAD 방법에서는 주어진 특징형상의 경우에 경계의 타입은 OPEN이고, 외부접근방향은 Y+, Y- 및 Z-의 3가지이며, 이를 각 방향에 따라 진입/이탈경계(Entry/Exit Boundary)의 쌍도 3가지가 존재한다. Y+ 및 Y-에 대응하는 이탈경계의 상태는 둘다 through이므로 Table 2에서와 같이 Through Slot의 결과를 얻게 되지만, Z- 방향에 대응되는 이탈경계의 상태는 not through이므로 Notch(Blind Step)라는 상이한 결과를 얻게 된다. 즉, 이탈경계의 선택이 임의적으로 이루어진다면 그 선택에 따라 동일한 특징형상에 대해 같은 분류결과를 얻지 못하는 경우가 생길 수 있다. 그러나 본 연구에서

Table 2. Comparison of VRDs method with EADs method

EADs method(1)			The proposed method		
#EADs	3	3	#(VRDs)	3	#(E1,R1)
Boundary Type	Open	Open	분류 기준		of SVFs
Exit Boundary Status	Through	Not Through			
분류된 Feature	Through Slot (Blind Step)	Notch	분류된 Feature	Through Slot	

* Note: * denotes a counter example for EADs method

는 VRDs의 수와 이에 따른 모든 수직면의 상태를 반영한 패러메타를 사용하므로 이와 같은 문제가 발생하지 않는다. 또한 Table 2에 보인 바와 같이 EAD에 의한 방법에서는 3개의 패러메타를 조합하여 특징형상을 분류하였으나, 본 연구에서는 단지 2개의 패러메타를 의사결정변수로 사용하여 보스, 포켓(비관통구멍), 관통구멍, 비관통슬롯, 관통슬롯, 비관통스텝, 관통스텝, 평판 및 면의 9가지 특징형상을 분류할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 CAPP 시스템의 개발과 관련하여 설계정보를 공정계획시스템에 효율적으로 전달할 수 있는 방안에 대하여 고려하였다. 이를 위해서는 계층적 구조를 가지는 특징형상에 의한 설계방법이 적절하며, 또한 특징형상에 대한 명확한 분류체계를 정립하는 것이 필수적이라고 판단된다.

체적제거방향의 수와 수직면의 면특성을 이용하여 특징형상의 분류체계를 제안하였다. 또한 수직면의 형상에 관한 정보를 추가함으로써 특징형상을 구체화할 수 있다. 체적제거방향은 실제의 가공시에 적용할 공구접근방향을 결정하는데 직접적으로 이용될 수 있으며, 절삭작업시의 공구이송방향을 쉽게 결정할 수 있고, 선정된 공구접근방향에 대응하는 공작물 고정위치에 대한 의사결정을 손쉽게 할 수 있다. 또한 기존의 유사한 연구결과와 비교해 볼 때, 보다 적은 수의 패러메타를 사용하여 특징형상을 일관적으로 분류할 수가 있다.

또한 본 연구에서 개발한 특징형상 분류방법을 적용하여 특징형상간의 가공우선순위를 결정하는 알고리즘과 기계 및 공구의 선정 등을 포함한 공정계획에의 응용방안을 제시하였다.

참고문헌

- Gindy N. N. Z., "A Hierarchical Structure for Form Features," International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 12, pp. 2089-2103, 1989.
- Butterfield, W. R., Green M. K., Scott D. C., and Stoker W. J., "Part Features for Process Planning," CAM-I Inc., 1985.
- Pratt M. J., and Wilson P. R., "Requirements for Support of Form Features in a Solid Modelling System," CAM-I Inc., 1985.
- Suh H., Ahluwalia R. S., and Miller J. E., "Protrusion and depression generation for concurrent engineering," Journal of Design and Manufacturing, Vol. 3, pp. 159-166, 1993.
- Kusiak A., Intelligent Manufacturing Systems, Prentice-Hall, Inc., 1990.
- Case K., and Gao J., "Feature technology: an overview," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, No. 1&2, pp. 2-12, 1993.
- Chang T. C., Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- Zhang H. C., and Alting L., Computerized Manufacturing Process Planning Systems, Chapman & Hall, 1994.