

공정계획을 고려한 복합 특징형상의 인식 알고리즘 개발*

Recognition Algorithm for Composite Features Considering Process Planning

강범식**, 이현찬***

Bum-Sick Kang**, Hyun-Chan Lee***

Abstract

Many researches on feature recognition have been performed up to now, but the general solution for recognizing arbitrary features has not been developed. The most popular research area in feature recognition is automatic extraction of 2.5 dimensional features, because they are frequently used in manufacturing field.

In this paper, a faster and more convenient 2.5 dimensional feature recognition algorithm is proposed using a new strategy which is quite different from the existing ones. The proposed algorithm takes process planning into consideration. The algorithm is implemented in C++. By applying the algorithm to practical complicate examples, we verify that the algorithm is working very well.

1. 서론

CAD는 컴퓨터의 도움으로 어떤 제품의 설계를 수행한다고 하면 CAM은 컴퓨터의 도움으로 제품을 제조하는 행위를 말한다. 즉 CAD/CAM 통합은 CAD에서 생성되는 설계 정보와 CAM에서 필요한 제조정보사이의 집

적화를 의미하는 것이다. 이러한 CAD/CAM 통합에 필수적으로 필요한 것이 공정계획의 자동화 (CAPP : Computer Aided Process Planning)이다.

설계행위는 설계변수에 의하여 나타나는 기능적인 조건을 만족하면서 제조가 용이한 제품형상 정보를 생성한다. 이러한 형상정보

* 이 논문은 1995년도 홍익대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

** (주)한연테크

*** 홍익대학교 산업공학과

로부터 제조에 필요한 제조단위 공정들과 순서, 각 공정을 수행하는 기계 및 제어변수들을 결정하는 공정계획의 자동화가 CAD/CAM 통합에 필수적이다.

CAD 시스템과 CAM 시스템을 통합하여 CIM 시스템을 구축하려는 노력이 최근 활발히 추진되고 있는데, 이러한 통합을 비교적 쉽게 이루어질 수 있도록 가교적인 역할을 하는 것이 제조정보와 관련된 특징형상(feature)들이다.

특징형상에 대한 정의는 적용 응용분야에 따라서 여러가지로 정의를 내릴 수 있지만, 일반적으로 특징형상이란 설계, 해석, 가공, 검사, 조립 등 각 생산의 요소 기술분야별로 필요한 형상의 단위를 말하는 것으로, 그림 1에서 대표적인 특징형상들을 보여주고 있다.

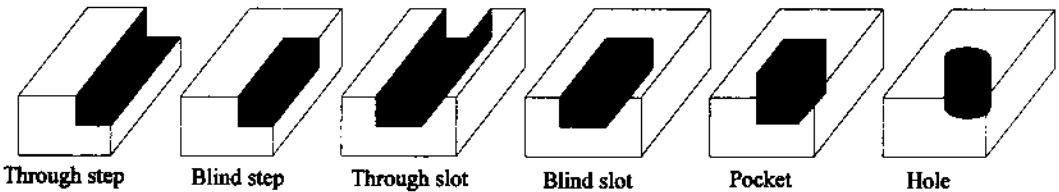


그림 1. 가공 특징형상의 예

이러한 특징형상을 제조에 이용하기 위한 방법으로는 특징형상 이용 설계(feature-based design)와 특징형상 인식(feature recognition)이 있는데, 특징형상 이용 설계는 설계시 특징형상 라이브러리를 이용하여 제품을 설계하는 것으로 필요한 형상정보와 엔지니어링 데이터를 동시에 저장 관리하는 방법을 말하는 것이다.

특징형상 인식은 일반적인 CAD시스템에서 제품을 설계한 이후에 특징형상 데이터를 자동 추출하는 것을 가리키는데, 이러한 특징

형상 자동추출 알고리즘은 그동안 많은 연구가 이루어져 왔으나 일반적인 해를 제공하는 알고리즘은 아직 출현하지 않았다. 그 중에서 가장 연구가 활발한 분야가 2.5차원 특징형상을 추출하는 것으로서 여기서 말하는 2.5차원 특징형상이란 2차원 도형을 직선운동으로 이동시킬때 이 도형이 지나는 3차원 공간으로 구성된 특징형상을 말하는 것으로 많은 제조관련 특징형상이 이 부류에 속하기 때문에 이에 대한 연구가 활발하다. [1, 2]

특징형상 자동추출 알고리즘에 관한 연구는 특징형상 정의 언어(feature definition language)를 사용하여 패턴 인식규칙에 의한 특징형상 도출기법을 Kyprianou[3]와 Xin Dong[4]이 제시하였고, Joshi와 Chang[5]은 설계된 모델을 구성하는 면의 인접관계를 나타

내는 AAG (Attributed Adjacency Graph) 표현 기법을 개발하여 가공특징형상을 인식하는 방법을 제시하였다. 또한 Perng, Chen 및 Li [6]는 CSG 트리로 정의된 형상정보로부터 특징형상을 도출하는 방법을 제시하였다.

최근에 Meeran과 Pratt[7]가 제시한 2차원 도면에서의 특징형상 자동추출 알고리즘에서는 2차원 설계도면에서 나타나는 선, 호, 원 등의 개체(entity)의 형상정보를 가지고 특징형상을 인식하는 방법을 제시하였는데, 이 방법은 3개의 도면의 상관관계와 도면 작성규

칙을 이용하여 특징형상을 인식하였다.

기존의 연구들은 주로 주어진 형상의 위상학적 정보를 이용하여 형상을 그래프로 변환한 후 그래프의 패턴을 인식하여 특징형상을 찾아내는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 추출할 수 있는 특징형상의 종류를 제한하며 그래프를 분할 인식하는데 많은 시간을 소요한다.

본 연구에서는 기존의 연구들이 무시하고 있는 기하학적정보를 보다 적절히 사용하여 보다 빠르고 쉬운 인식 알고리즘을 개발하였다. 제안하는 알고리즘은 직교투영을 이용하여 3차원 형상을 2차원 형상으로 단순화하여 보다 쉽게 기하학적 정보를 특징형상에 이용할 수 있게 하였다.

본 논문의 구성은 우선 2절에서 입력 형식과 직교투영을 이용하여 생성되는 면의 특성에 대해 설명하였다. 3절에서는 이러한 투영된 면들을 이용하여 특징형상 인식에 대한 분류 방법을 제시하였다. 4절에서는 분류된 투영면들을 이용한 특징형상 인식 알고리즘을 4가지 유형으로 나누어 제안하였다. 5절에서는 특징형상 인식 이후의 공정계획의 고려사항을 설명하였다. 6절에는 인식된 특징형상을 저장하는 데이터베이스의 기본 구조를 설명하고 7절에서 결론을 내렸다.

2. 입력 형식과 직교투영

본 연구에서의 특징형상 인식 알고리즘의 수행 과정은 우선 입력단계로, 2.5차원 솔리드 모델을 자체 개발한 솔리드 표현 모듈을 통하여형상정보를 입력받는다. 입력된 모델을 구성하는 면들을 직교투영 방법을 적용한

다음, 생성된 면의 기하정보와 위상정보를 중심으로 특징형상을 인식하기 위한 형태로 면을 분류한다. 마지막으로 이렇게 분류된 면을 기준으로 공정계획을 고려함으로써 가공에 알맞은 최종적인 가공 특징형상 데이터베이스를 생성한다.

입력 데이터로 이용되는 2.5차원 솔리드 모델을 구성하는 기본 데이터 구조는 Mantyla [8]가 제시한 halfedge 데이터 구조를 가정한다. halfedge 데이터 구조는 면의 위상정보와 법선벡터 등을 쉽게 찾아낼 수 있는 장점 뿐만 아니라 halfedge 데이터 구조내의 면의 위상정보 중 내부루프(inner loop)를 이용함으로써 이후의 특징형상 인식 과정에서 보다 수월함을 제공한다.

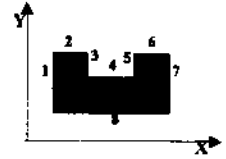
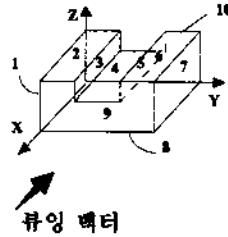
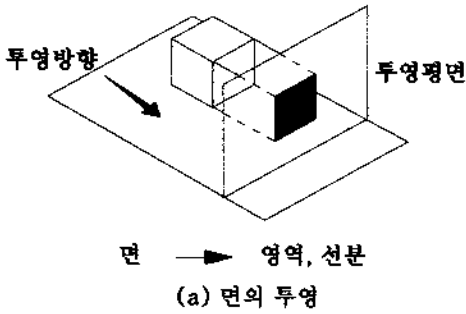
투영(projection)이란 3차원 모델을 2차원 투영평면으로 사상하는 것으로 여러가지 투영방법이 존재하는데 그 중 직교투영(orthographic projection)은 투영평면과 수직인 투영방향으로 3차원 모델을 사상하는 것을 말한다. [9]

솔리드 모델의 직교투영시 나타나는 면의 형상은 선분과 영역의 두가지 형태로 구분되는데, 선분의 형상을 갖는 경우는 뷰잉벡터(viewing vector)와 면의 법선벡터(normal vector)와의 내적이 0의 값을 갖는 경우로, 이러한 면들을 수직 투영면으로 정의한다. 이와는 상대적으로 영역의 형태를 갖는 경우는 내적이 0이외의 값을 갖는 일반 투영면이다.

선분의 형태를 갖는 수직 투영면을 다시 두가지 유형으로 구분하게 되는데, 하나는 투영 좌표계에서 X축과 평행한 선분의 형태를 갖는 수평면이고, 다른 하나는 수평면을 제외한 나머지 수직투영면인 비수평면으로 정

의한다. 그림 2는 솔리드 모델의 직교투영시 나타나는 수평면과 비수평면을 보여준다.

10번 수평면과 같이 무게중심의 Y값이 가장 큰 수평면을 최상위 수평면이라고 정의하여



수평면 : 2, 4, 6, 8
비수평면 : 1, 3, 5, 7

그림 2. 솔리드 모델의 직교투영시 수평면과 비수평면의 구분

이외의 추가적인 면의 특성으로는 평면 또는 곡면으로 표현되는 면의 형태와 좌표계상에서 면의 위치를 판별하는 면의 무게중심이 필요하다. 각 면의 무게중심의 X, Y 좌표값은 다음 절의 면의 좌우 또는 상하관계를 규명하는데 사용한다.

3. 특징형상 인식을 위한 수직 투영면의 분류

특징형상을 인식하기 위한 선행과정으로 직교투영을 통해 나타난 선분의형상을 갖는 수직 투영면을 분류한다. 수직 투영면 분류를 시작하기 위해서는 2차원 X-Y 투영 좌표계 상에서 면의 무게중심의 Y값이 가장 큰 수평면 즉, 최상위 수평면을 설정한다. 최상위 수평면이 설정되면 이를 기준으로 하향식으로 무게중심의 Y값이 작은 수평면들을 분류한다.

최상위 수평면 설정시 가정하는 사항은 최상위 수평면은 이에 인접한 비수평면들보다 무게중심의 Y값이 크다는 것이다. 그림 3 (a)의 경우가 이러한 가정을 만족하는 경우로 2,

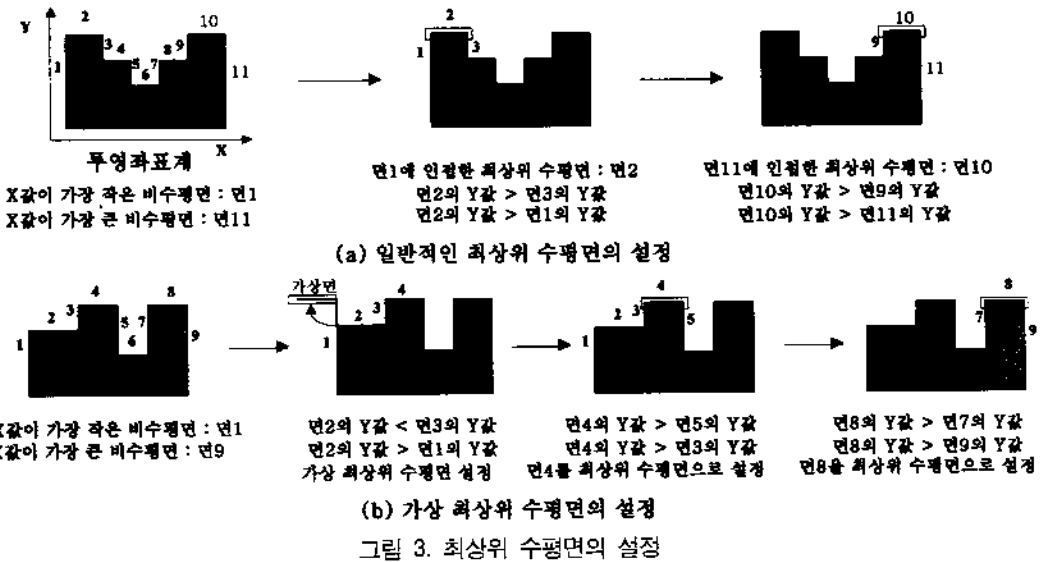
이용하게 된다. 반면 가정에 부적합한 면이 좌우 양쪽에 존재할 경우에는 무게중심의 Y값이 큰 가상(virtual) 최상위 수평면을 설정하여 이용하게 된다. 이에 대한 예가 그림 3 (b)에 나타나 있다. 다음은 최상위 수평면 설정 과정을종합한 것이다.

- (1) X-Y 투영좌표계 상에서 X값이 가장 큰 비수평면과 가장 작은 비수평면을 찾는다.
- (2) X값이 가장 작은 비수평면에 인접한 Y값이 가장 큰 수평면을 찾아낸다.
- (3) Y값이 가장 큰 수평면이 가정에 합당하면 최상위 수평면으로 설정하고 단계5를 수행한다.
- (4) 가정에 위배되는 경우, X값이 가장 작은 비수평면의 경우는 좌측에 Y값이 큰 임의의 가상 최상위 수평면을 설정하고, X값이 가장 큰 비수평면의 경우는 우측에 가상 최상위 수평면을 설정한다. 가정에 위배되는 수평면의 실제의 최상위 수평면을 설정하기 위하여 Y값이 큰 비수평면을 중심으로 단계2를 반복 적용한다.
- (5) X값이 가장 큰 비수평면에 인접한 수평면

에 대해 단계2에서 단계4의 동일한 과정을 수행한 이후에 단계6으로 넘어간다.

- (6) X값이 가장 작은 비수평면과 X값이 가장 큰 비수평면에 인접한 최상위 수평면을 설정한 이후에 나머지 수평면 중에서 인접한 비수평면보다 Y값이 큰 수평면을 최상위 수평면으로 저장한다.

하면서 무게중심의 Y값이 작은 수평면들을 하위 수평면으로 정의하여 하나의 그룹으로 분류하게 된다. 이때 하나의 그룹으로 분류되는 수직 투영면들을 기준으로 분류되는 깊이(depth)를 저장하여 특징형상의 선 후관계를 규정하게 된다. 면의 인접관계를 이용한 수직 투영면의 분류 방법의 예로서



최상위 수평면이 설정된 후 수직 투영면은 두가지 방법을 이용하여 분류하게 되는데, 첫번째 방법은 설정된 최상위 수평면을 기준으로 면의 인접관계를 이용하는 것이고, 두번째 방법은 halfedge 데이터 구조의 면의 내부루프를 이용하는 방법으로 hole, pocket과 같은 특징형상의 존재를 인식하는데 사용된다.

먼저 면의 인접관계를 이용한 방법은 두개의 최상위 수평면에서 시작하여 투영 좌표계 상에서 하향식으로 무게중심의 Y값이 작은 비수평면과 이러한 비수평면에 인접

그림 4 (a)에서 1, 9번 최상위 수평면을 시작으로 비수평면 2, 8번 면과 하위 수평면 3, 7번 면을 깊이 1로 설정하여 하나의 그룹으로 분류한 후 3, 7번 면에 인접한 비수평면이 4, 6번 면이 존재하므로 깊이를 2로 증가시켜 하위 수평면 5번 면과 함께 분류한다. 이렇게 그룹으로 분류된 수직 투영면들을 상위 수평면에 인접한 비수평면의 수와 비수평면에 인접한 하위 수평면의 수에 따라 다음과 같은 4가지 유형으로 분류하여 이후의 특징형상 인식 과정에서 개별적인 알고리즘을 적용하게 된다.

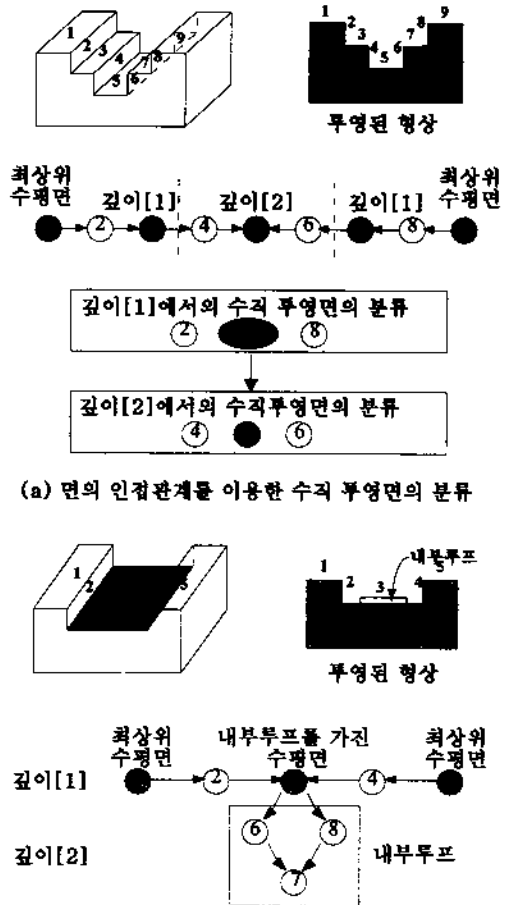
- 상위 수평면에 하나의 비수평면이 인접한 경우
- 비수평면에 인접한 하위 수평면이 하나인 경우 (유형 1)
- 비수평면에 인접한 하위 수평면이 둘 이상인 경우 (유형 2)
- 상위 수평면에 둘 이상의 비수평면이 인접한 경우
- 비수평면에 인접한 하위 수평면들이 동일한 경우 (유형 3)
- 비수평면에 인접한 하위 수평면들이 서로 다른 경우 (유형 4)

내부루프를 적용하여 인식 가능한 특징형상은 hole, pocket으로 면의 인접관계를 이용한 수직 투영면 분류를 수행한이후에 분류된 수직 투영면들의 내부루프의 유무를 조사하여 내부루프가 존재할 경우에는 내부루프를 구성하는 수직 투영면을 중심으로 면의 인접관계를 이용한 방법과 동일하게 분류하여 각각의 유형별로 나누게 된다.

이때 내부루프법을 이용한 수직 투영면 분류는 면의 인접관계를 이용한 수직 투영면 분류 이후에 수행되기 때문에 내부루프를 가진 수직 투영면의 깊이를 유지하여 특징형상들간의 선후관계를 명확하게 설정해야 한다. 내부루프의 유무는 입력 데이터의 halfedge 데이터 구조상에서 주어진 면에 속한 루프의 갯수를 검사함으로써 쉽게 판별할 수가 있다.

면의 내부루프를 이용한 방법의 예는 그림 4 (b)에서 보여주는 것처럼 먼저 면의 인접관계를 이용하여 2, 3, 4번 수직 투영면을 깊이 1로 분류한 다음 3번 면에 내부루프가 존

재하므로 깊이를 2로 증가시켜 6, 7, 8번 수직 투영면을 분류한다.



(a) 면의 인접관계를 이용한 수직 투영면의 분류

(b) 면의 내부루프를 이용한 수직 투영면의 분류

그림 4. 수직 투영면의 분류

면의 인접관계와 내부루프를 이용하여 분류된 수직 투영면들을 기준으로 특징형상을 인식하기 위해서는 적절한 수직 투영면 분류 데이터 구조를 필요로한다. 다음 표 1은 수직 투영면 분류 데이터 구조의 내용을 보여 주고 있다.

표1. 수직 투영면 분류 데이터 구조

Level	수직 투영면이 분류되는 깊이
LeftTopFace	좌측 상위 수평면
RightTopFace	우측 상위 수평면
LeftGeneral	좌측 상위 수평면에 인접한 좌측 비수평면
RightGeneral	우측 상위 수평면에 인접한 우측 비수평면
LeftBottom	좌측 비수평면에 인접한 좌측 하위 수평면
RightBottom	우측 비수평면에 인접한 우측 하위 수평면
Sibling	동일 깊이의 수직 투영면 분류 데이터
Parent	상위 깊이의 수직 투영면 분류 데이터
Child	하위 깊이의 수직 투영면 분류 데이터
Feature	수직 투영면 분류에 의해 인식된 특징형상

4. 공정계획을 고려한 특징형상 인식

수직 투영면 분류 데이터구조가 생성이 되면 생성된 데이터를 중심으로 특징형상을 인

식하게 된다. 특징형상 인식 알고리즘은 표 2에서 나타난 수직 투영면의 분류방법, 평면과 곡면으로 표현되는 면의 형태, 수직 투영면의 수, 일반 투영면의 수의 패턴을 중심으

표2. 직교투영 방법으로 나타나는 특징형상의 패턴

특징형상	분류 방법	평면/곡면	수직 투영면의 수	일반 투영면의 수
Through slot	인접관계	평면	1	2
			3	0
Blind slot	인접관계	평면	2	2
			3	1
Dovetail	인접관계	평면	3	0
V-slot	인접관계	평면	3	0
Through step	인접관계	평면	1	1
			2	0
Blind step	인접관계	평면	2	1
Through	내부루프	평면	2	2
pocket	인접관계	평면	2	2
Blind pocket	내부루프	평면	3	2
			3	2
Through hole	내부루프	곡면	1	0
Blind hole	내부루프	곡면	2	0

(주) 수직 투영면의 수와 일반 투영면의 수는 동일 평면상에 있는 2개 이상의 splitting face를 하나로 취급한 수

로 적용된다. 특히 slot과 비교해서 dovetail과 v-slot은 비수평면과 하위 수평면의 각도에 따라 구별되는데, dovetail은 비수평면과 하위 수평면의 각도가 90도보다 큰 특징을 갖고, v-slot은 90도보다 작은 특징을 갖는다.[12]

또한 표 2에서 나타난 패턴중 through slot, blind slot, through step의 특징형상은 수직 투영면의 수와 일반 투영면의 수에 따라 두가지 특징형상 인식 방법으로 나누어지는데, 이는 각 특징형상들이 투영방향에 따라 나타나는 특징형상을 구성하는 투영면들의 형상이 서로 다르고 이에 상응하는 투영면의 수가 달라지기 때문이다. 이에 대한 대표적인 예가 그림 5에서 보여주고 있다. 그림에서 through slot은 투영방향 1에서 1, 2, 3번 면이 모두 수직 투영면으로 나타나지만, 투영방향 2에서는 2번 면만 수직 투영면으로 나타나고 1, 3번 면은 일반 투영면으로 나타난다.

다. 따라서 이러한 공정계획 수립에 용이하도록 인식된 특징형상을 재정의할 필요가 있다. 특히 본 연구에서 관심을 갖는 공정계획의 고려사항은 특징형상간의 간섭유형 구분, 특징형상의 선후관계 결정 및 공구 접근방향의 결정 등이다.

4.1 유형 1의 특징형상 인식

유형 1은 각각의 수직 투영면들이 일대일로 인접해 있는 경우로서 세부적으로 하위수평면의 형상과 좌측과 우측 하위 수평면의 관계에 따라 4가지 경우로 구분하여 특징형상을 인식한 다음 이후의 공정계획을 고려하게 된다. 이상의 과정을 종합한 것이 그림 6인데 이 중 공정계획의 고려과정은 다음 절에서 설명한다.

4가지 경우 중 첫번째 경우는 좌측과 우측 하위 수평면이 동일하고 하위 수평면의 꼭지점이 4개인 경우로 그림 7 (a)에서 보여주는

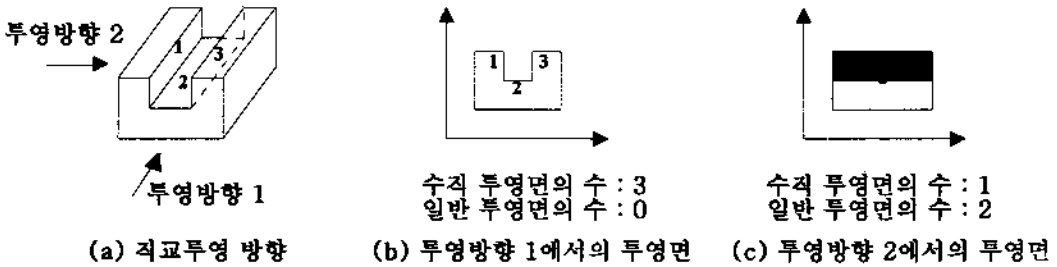


그림 5. 특징형상의 투영방향에 따른 투영면의 수

표 2의 특징형상의 패턴을 이용하여 특징형상을 인식한 다음에 이를 기반으로 공정계획을 수립하게 된다. 공정계획이란 CAD를 통해 생성된 형상정보로부터 제조에 필요한 제조 단위공정들과 이들의 순서, 각 공정을 수행하는 기계 및 제어변수들을 결정하는 것이

것처럼 전형적인 독립 특징형상의 유형으로 표 2의 특징형상의 패턴을 적용하여 쉽게 인식할 수 있는데, 그림 7(a)에서 through step의 예는 면의 인접관계에 의한 분류방법과 수직 투영면의 수가 2개이고 일반 투영면의 수가 0개인 특성으로 쉽게 인식할 수가 있다.

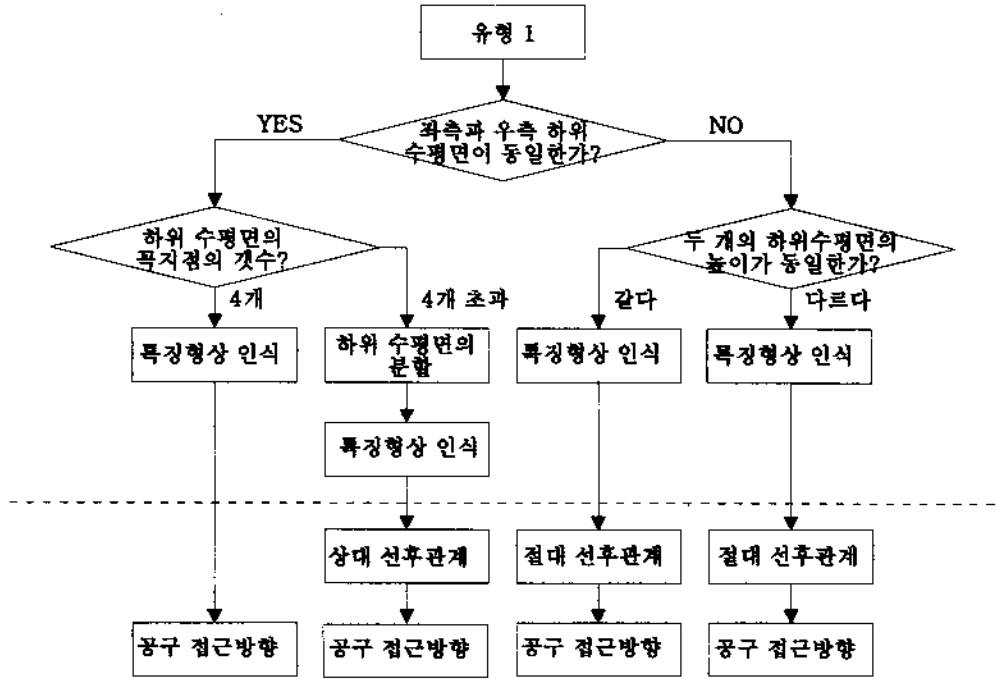


그림 6. 공정계획을 고려한 유형 1의 특징형상 인식 과정

그림 7(a)의 blind pocket은 through slot과 3개의 수직 투영면에 의한 동일한 인접관계를 갖지만 투영면의 분류 방법이 내부루프라는 점을 through slot과 구별하여 유형 1에 포함해서 특징형상을 인식하고, blind hole의 경우는 하위 수평면이 4개의 꼭지점을 갖지는 않지만 blind pocket과 같이 내부루프에 의한 분류방법 이용하는 점에서 유형 1의 첫번째 경우로 포함하여 특징형상을 인식한다.

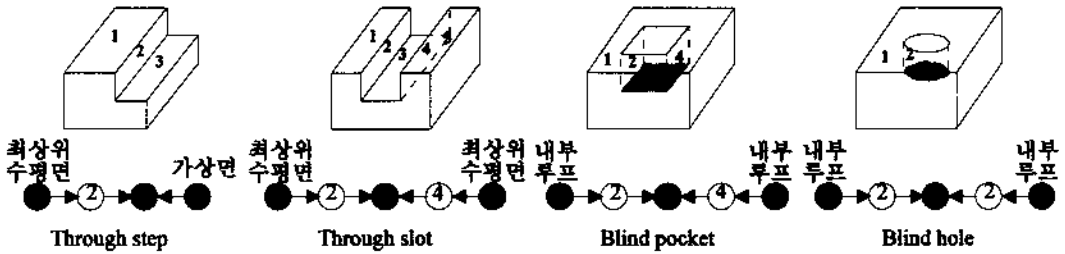
두번째 경우는 좌측과 우측 하위 수평면이 동일하고 하위 수평면의 꼭지점이 4개를 초과하는 경우로 그림 7 (b)에서 나타나듯이 slot과 step이 하나의 하위 수평면을 공유하면서 복합 특징형상을 구성하고 있다. 이러한 유형은 특징형상들이 서로 공유하는 하위 수평면의 분할을 통해서 분할된 하위 수평면과

이에 인접한 각각의 비수평면을 동일한 깊이를 가진 그룹으로 분류하여 특징형상을 인식한다. 첫번째 그룹은 2, 3, 4번 면으로 구성되는 3개의 수직 투영면으로 through slot의 특징형상을 인식하고 두번째 그룹은 분할된 하위 수평면 3번과 splitting face로 존재하는 6, 7번 일반 투영면을 하나로 취급하여 through step으로 특징형상을 인식한다.

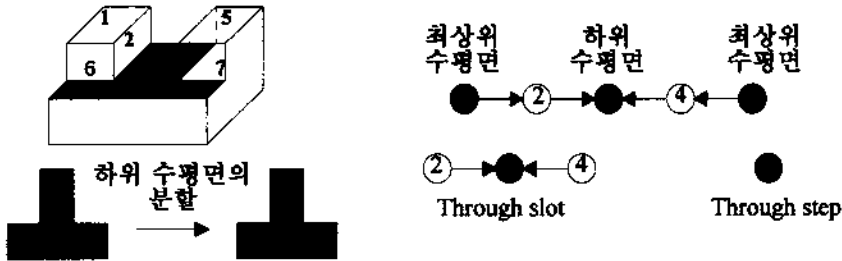
세번째와 네번째 경우는 각각 그림 7 (c)와 (d)에 나타나 있는데 이 경우들은 좌측과 우측 하위 수평면이 서로 다른 경우들로 첫번째 경우에서 하위 수평면을 기준으로 새로운 특징형상이 존재하여 두 개의 그룹으로 수직 투영면들이 분류되는 경우이다. 이렇게 분류된 두 개의 그룹들 간에는 선후관계가 성립하는데, 그림 7(c)에서 2, 3, 7, 8번 수직 투영

면으로 구성되는 through slot은 4, 5, 6번 수직 투영면으로 구성되는 through slot에 대하여 선행조건이 성립된다. 특히 그림 7 (d)에서 두 개의 그룹으로 이루어진 수직 투영면의 분류에 의한 특징형상 인식은 서로 다른

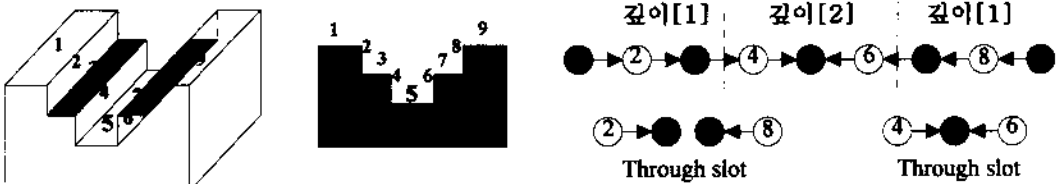
높이를 가진 하위 수평면들 중 투영 좌표계 상에서 무게중심의 Y값이 큰 하위 수평면 3번 면과 좌측과 우측 비수평면 2번과 6번 면을 하나의 그룹으로 생성한 다음, 깊이를 증가시켜 Y값이 작은 하위 수평면 5번 면과 이



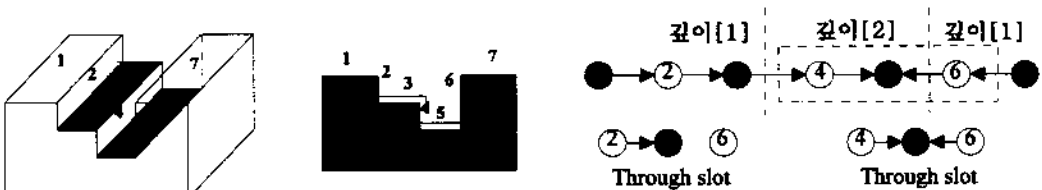
(a) 좌측과 우측 하위 수평면이 동일하고 하위 수평면의 꼭지점이 4개인 경우



(b) 좌측과 우측 하위 수평면이 동일하고 하위 수평면의 꼭지점이 4개를 초과하는 경우



(c) 좌측과 우측 하위 수평면이 서로 다르고 동일한 높이를 갖는 경우



(d) 좌측과 우측 하위 수평면이 서로 다르고 다른 높이를 갖는 경우

그림 7. 유형 1의 특징형상 인식

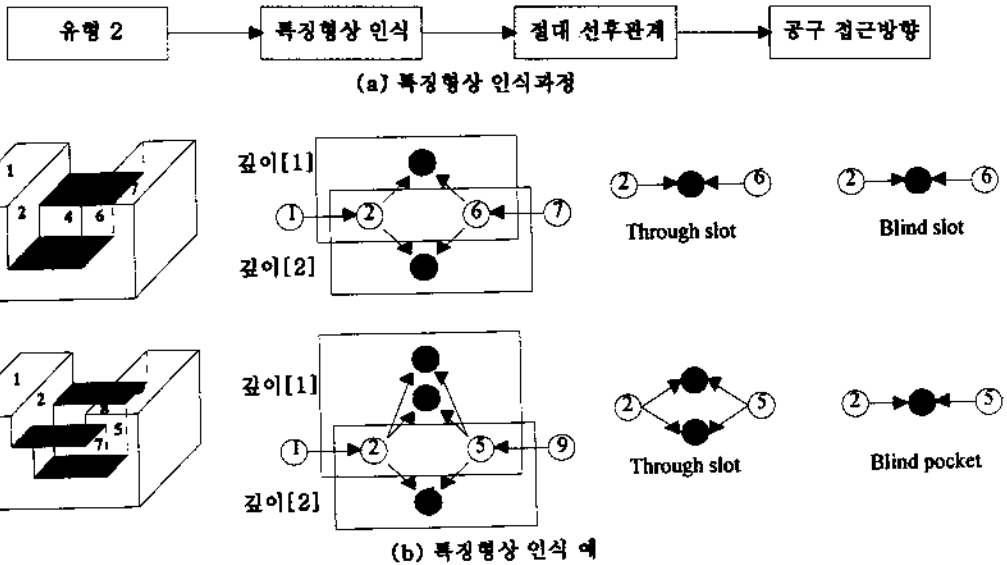


그림 8. 유형 2의 특징형상 인식 과정과 예

에 상응하는 좌측과 우측 비수평면 4번과 6번 면을 분류하여 특징형상을 인식한다.

4.2 유형 2의 특징형상 인식

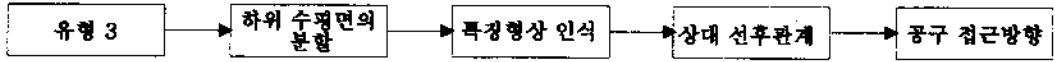
유형 2는 좌측과 우측의 각각 하나의 비수평면에 투영좌표계 상에서 높이가 서로 다른 여러 개의 하위 수평면들이 공존하는 형태를 보여주는 것으로 투영 좌표계 상에서 하위 수평면의 무게중심의 Y값에 따라 수직 투영면들을 분류하여 특징형상을 인식한다. 그림 8에서는 유형 2에 대한 특징형상 인식 과정과 대표적인 예를 보여 준다. 유형 2의 수직 투영면 분류에 의한 특징형상 인식방법은 하위 수평면중 투영 좌표계 상에서 Y값이 가장 큰 하위 수평면을 기준으로 상응하는 비수평면들을 하나의 그룹으로 분류하여 특징형상 인식을 한 다음에 나머지 하위 수평면들을 중심으로 무게중심의 Y값이 큰 순서대

로 특징형상들 간의 선후관계를 정의하기 위하여 깊이를 증가시켜 수직 투영면들을 분류하여 차례로 특징형상을 인식하게 된다.

4.3 유형 3의 특징형상 인식

유형 3은 유형 1에서의 하위 수평면의 분할을 통한 특징형상 인식과 유사한 경우로써 상위 수평면에 인접한 비수평면의 수가 여러 개이고 동일한 하위 수평면을 갖는 형태이다. 이때의 특징형상 인식 과정은 그림 9(b)에서 5번 하위 수평면을 기준으로 면의 분할작업을 수행하여 분할된 하위 수평면과 이에 인접한 비수평면을 기준으로 동일한 깊이를 갖는 그룹으로 분류한 다음에 특징형상을 인식한다.

특히 그림 9(c)에서 1번 상위 수평면에 인접한 2, 4, 6, 8번 비수평면들과 같이 상위 수평면에 인접한 비수평면의 수가 많은 경우

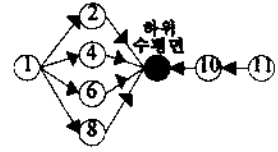
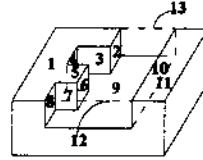
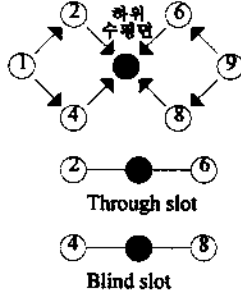


(a) 특징형상 인식 과정



하위 수평면의 분할

(b) 일반적인 경우의 특징형상 인식 예



(c) "Virtual pocket"으로 처리된 예

그림 9. 유형 3의 특징형상 인식 과정과 예

(하나의 상위 수평면에 4개 이상의 비수평면이 인접한 경우)에는 하위 수평면을 분할하여 특징형상을 인식하기 보다는 Joshi와 Chang이 제시한 "Virtual pocket"의 개념[6]을 이용하여 특징형상을 인식한다.

4.4 유형 4의 특징형상 인식

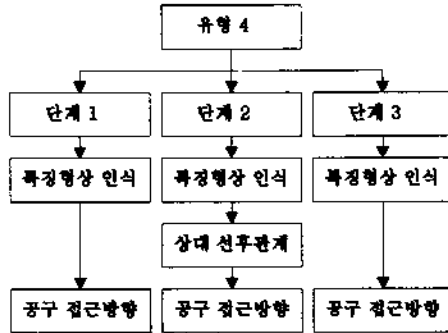
유형 4는 유형 1, 유형 2, 유형 3이 복합적으로 나타나는 경우로 이러한 복합 특징형상은 인식 방법에 따라서 다양한 독립 특징형상들을 인식하게 된다. 복합 특징형상에 대한 일관성 있는 특징형상 인식을 위하여 유형 4의 수직 투영면 분류에 의한 특징형상 인식 방법은 하위 수평면들을 기준으로 크게 3가지 단계로 이루어지는데, 이의 단계별 특징형상 인식 과정과 대표적인 유형 4의 예가 그림 10에 나타나 있다.

(1) 1단계 : X-Y 투영좌표계 상에서 하위 수평면이 상위 수평면의 내부에 포함되는 경우로 이러한 포함 여부는 투영 좌표계 상의 상위 수평면과 하위 수평면의 무게중심의 X값에 대한 최대

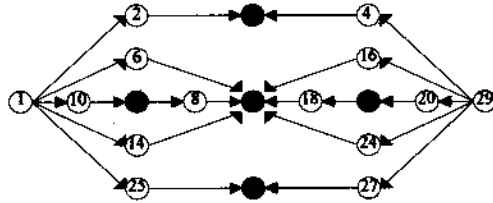
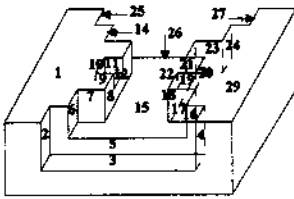
값과 최소값을 비교하여 판단할 수가 있다. 특징형상 인식은 하위 수평면과 이에 상응하는 비수평면을 하나의 그룹으로 분류하여 수직 투영면의 수와 일반 투영면의 수를 기준으로 인식한다. 예로서 그림 10(b)에서 12번 하위 수평면은 1번 상위 수평면의 내부에 포함되므로 인접한 10번 비수평면과 하나의 그룹으로 분류하여 blind slot으로 인식한다. 다음 그림 11은 하위 수평면이 상위 수평면의 내부에 포함되는 예를 보여준다.

(2) 2단계 : 하위 수평면의 꼭지점이 4개를 초과하는 경우로서 하나의 복합 특징형상에서 유형 3에 해당하는 특징형상들을 인식하기 위하여 이에 해당하는 하위 수평면을 분할하여 분할된 하위 수평면과 이에 상응하는 비수평면들을 동일 깊이의 그룹으로 분류하여 인식한다. 그 예로서 그림 10(b)에서 15번 하위 수평면을 분할하여 동일 깊이의 3개의 그룹으로 분류하여 인접한 일반 투영면의 수를 고려하여 2개의 blind slot과 through slot을 인식한다. 이를 정리한 것이 그림 12이다.

(3) 3단계 : 1단계와 2단계에서 처리된 하위 수평면을 제외한 나머지 하위 수평면을 중심으로 유

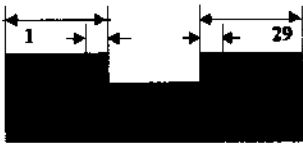


(a) 단계별 특징형상 인식과정



(b) 유형4의 예와 수직 투영면들의 인접관계

그림 10. 유형 4의 단계별 특징형상 인식 과정과 예



투영 좌표계

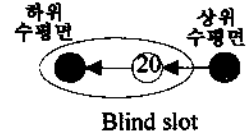
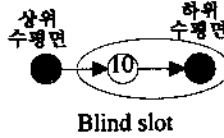


그림 11. 유형 4의 하위 수평면이 상위 수평면의 내부에 포함되는 특징형상의 예

하위 수평면의 분할

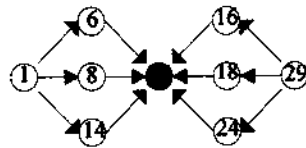


그림 12. 유형 4의 하위 수평면의 꼭지점이 4개를 초과하는 특징형상의 예 (유형 3)

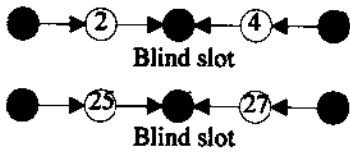
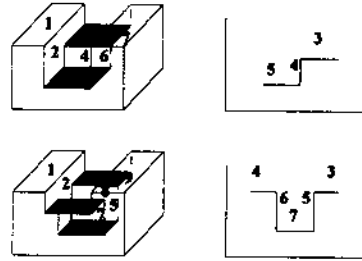


그림 13. 유형 4의 하위 수평면의 높이를 고려한 특징형상 인식의 예 (유형 1, 유형 2)

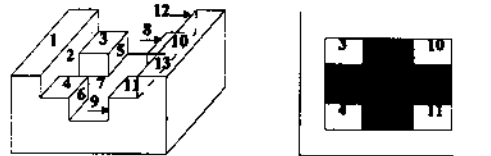
형 1과 유형 2에 해당하는 특징형상을 인식하기 위하여 투영 좌표계 상에서 하위 수평면의 무게 중심의 Y값을 기준으로 특징형상의 선후관계를 정의하기 위하여 이에 인접한 비수평면들을 하나의 그룹으로 분류한 다음에 일반 투영면의 수를 고려하여 특징형상을 인식한다. 이러한 하위 수평면들을 중심으로 특징형상을 인식한 예가 그림 13에서 보여주고 있다.

4.5 유형별 특징형상 인식과 투영방향

하나의 기본 투영방향을 설정하여 수직 투영면의 분류를 통해 특징형상 인식 과정을 앞서 살펴 보았다. 일반적으로 하나의 투영방향에서 모델을 구성하는 모든 특징형상을 인식하기는 힘들다. 따라서 투영방향을 전환하여 특징형상을 구성하는 모든 면들을 분류할 때까지 수직 투영면 분류를 이용하여 특징형상을 인식한다. 기본 투영방향에서 수직 투영면들을 분류한 이후에 특징형상을 인식하는 과정에서 유형별로 참조 투영방향을 이용하게 되는데, 그림 7(b)에서 나타난 유형 1과 그림 9의 유형 3에서 수직 투영면 분류할 때 하위 수평면 분할과정에서 2차원 도면 상에서 평면도에 해당하는 참조 투영방향을 이용하여 하위 수평면의 형상에 따라 분할한다. 다음으로 적용되는 참조 투영방향은 유형 2에서 투영좌표계 상에서 하위 수평면의 Y값



(a) 유형 2의 참조 투영방향에서의 하위 수평면의 형상



(b) 참조 투영방향에서의 하위 수평면의 형상에 따른 유형 2와 유형 4의 구별

그림 14. 특징형상 인식에서의 참조 투영방향의 이용

에 따라 특징형상을 인식할 때 2차원 도면 상에서 측면도에 해당하는 참조 투영방향을 이용하여 생성되는 하위 수평면들을 분류한다. 그림 14(a)의 위의 그림은 투영 좌표계 상에서 Y값이 큰 3번 하위 수평면을 먼저 분류하여 특징형상을 인식한 다음, Y값이 작은 5번 하위 수평면을 분류할 시 4번 일반 투영면을 함께 분류하여 특징형상을 인식하게 된다. 또한 그림 14(a)의 아래 그림에서 투영좌표계 상에서 3번과 4번 하위 수평면이 동일한 Y값을 가지므로 splitting face로 설정하여 분류하여 특징형상을 인식한 다음, Y값이 작은 7번 하위 수평면과 5번과 6번 일반 투영면을 같이 분류하여 특징형상을 인식하게 된다.

또한 그림 14 (b)에서는 하나의 수직 투영면에 여러 개의 하위 수평면이 인접한 유형 2를 보여주지만, 2차원 도면상의 평면도에 해당하는 참조 투영방향에서의 7번 하위 수평면의 형상이 4개 이상의 꼭지점을 가지므로 유형 4로 구별하여 특징형상을 인식한다.

5. 특징형상 인식 이후의 공정계획의 고려 사항

5.1 특징형상간의 간섭유형 구분

특징형상들 간의 간섭은 주로 형상이나 공차에 의해서 규정이 되는데 이러한 관계는 공정순서를 결정하거나 때때로 공정자체에 중요한 의미를 부여한다. 특히 두 개 이상의 독립 특징형상들이 하나의 복합 특징형상을 구성하는 경우는 인식되는 특징형상들이 다양하게 나타날 수가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 가공의 관점에서 이진 형상 관계(binary geometric relationship)만을 고려한다.[10]

이진 형상 관계란 두개의 특징형상이 복합 특징형상을 구성하는 관계를 규정하는 것으로 포함관계(nested relation)와 교차관계(intersection relation)로 구분이 된다. 포함관계는 동일한 유형의 특징형상을 가지면서 하나의 특징형상이 다른 특징형상에 포함되는 경우로서 그림 7의 (c), (d)와 같이 서로 다른 깊이를 가진 특징형상들 간의 관계이다. 반면 교차관계는 두개의 특징형상이 서로 교차하여 하나의 특징형상이 분할된 형태로서 그림 7 (b)와 그림 9에서 대표적인 예를 보여주고 있다.

이러한 이진 형상 관계를 갖는 두개의 특징

형상이 동일한 셋업상에서 가공이 가능한 경우에는 하나의 특징형상으로 재정의할 수가 있는 것이다. 이진 형상 관계를 갖는 두 개의 특징형상을 하나의 가공 특징형상으로 재정의하는 것을 특징형상 통합(feature merging)이라고 한다. 즉 그림 7(c)에서 두 개의 동일한 슬롯을 하나의 슬롯으로 표현되는 가공 특징형상을 생성한다.

5.2 특징형상의 선후관계 규정

특징형상의 선후관계는 특징형상의 가공순서를 결정하는 중요한 역할을 하는 것으로 절대 선후관계(strict precedence)와 상대 선후관계(loose precedence)로 구분을 할 수가 있다. [11] 절대 선후관계는 하나의 특징형상이 다른 특징형상보다 반드시 먼저 가공이 되어야만 할 경우를 말하는 것으로 이러한 특징형상들 간의 절대 선후관계의 규정은 하향식으로 수직 투영면을 분류하면서 분류되는 각 깊이를 설정하여 이용하게 된다. 상대선후관계는 명백한 가공순서의 결정이라기 보다는 좋은 가공순서를 수립하기 위한 것으로 즉, 원재료로부터 가공할때 보다 좋은 가공 순서를 결정하기 위하여 이러한 선행관계가 규정이 된다. 다음은 특징형상들 간의 선후관계를 규정하는 알고리즘을 서술하고 있다.

- 절대 선후관계 규정

- (1) 수직 투영면 데이터 구조내에 하위 깊이의 수직 투영면 분류 데이터를 조사한다.
- (2) 하위 깊이의 수직 투영면 분류 데이터가 존재한다면 상위 분류 데이터를 하위 분류 데이터의 선행조건으로 설정한다.

- 상대 선후관계 규정

- (1) 수직 투영면 분류 데이터에 의한 특징형상 인식에서 하위 수평면의 분할에 의한 인식인 경우는 단계 2를 수행하고, 나머지 상대 선후관계를 적용하는 경우는 단계 3을 수행한다.
- (2)-1 하위 수평면의 분할에 의해 인식된 특징형상을 구성면중 동일한 평면의 방정식을 가지는 splitting face를 조사한다.
- (2)-2 특징형상중 splitting face가 존재하지 않는 특징형상을 splitting face가 존재하는 특징형상에 대해 상대 선후관계에 있어서 선행조건으로 설정한다.
- (3)-1 수직 투영면 분류 데이터중 하위 수평면들의 투영 좌표계 상의 Y값을 조사한다.
- (3)-2 하위 수평면의 Y값이 작은 특징형상을 Y값이 큰 특징형상의 상대 선후관계에 있어서 선행조건으로 설정한다.

5.3 공구 접근방향의 결정

공구 접근방향의 결정은 셋업과 가공경로를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 공구 접근방향이란 공구가 특징형상을 가공하기 위하여 방해받지 않는 접근방향을 말한다. [12] 다음은 이러한 공구의 접근방향의 설정방법을 단계적으로 나타낸 것이며 이의 예가 그림 15에 보여져 있다. 다음의 설정방법을 이용하여 생성된 투영방향은 최적 가공방향 설정의 입력 데이터로서 이용된다. 여기서는 다수의 가능한 모든 대안을 제시하여 추후 공정계획 단계에서 이중 가장 적절한 방향이 선택된다.

- (1) 각 축을 중심으로 양의 방향과 음의 방향의 기본적인 6가지 공구의 접근방향을 설정한다.

- (2) 특징형상을 구성하는 모든 면의 법선벡터를 구한다.
- (3) 기본적인 6가지 공구의 접근방향에서 얻어진 면의 법선벡터를 제외시킨다.
- (4) 남아있는 공구의 접근방향을 특징형상에 대한 최종적인 공구의 접근방향으로 설정한다.

6. 특징형상 데이터베이스

수직 투영면 분류 데이터로부터 개별적인 특징형상 인식 과정을 통해 생성된 특징형상 데이터와 공정 데이터를 통합하여 이후에 공정계획에 이용할 수 있도록 적당한 특징형상 데이터베이스를 생성해야 한다. 이러한 특징형상 데이터베이스는 형상 데이터와 공정데이터로 구분이 되며, 세부적인 특징형상 데이터베이스의 내용이 표 3에서 보여주고 있다.

7. 결론

본 연구에서 제시하고 있는 공정계획을 고려한 복합특징형상 인식 알고리즘은 기존 방법과는 달리 직교투영을 이용하여 2.5차원 모델의 기하학적 정보를 바탕으로 이를 변환하여 보다 용이하게 복합 특징형상을 인식할 수 있었고 이후의 공정계획을 고려함으로써 특징형상에 기반을 둔 공정계획에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화할 수 있었다.

본 연구에서의 알고리즘은 C++ 언어[13, 14, 15]를 사용하여 halfedge 데이터 구조를 기반으로 솔리드 모델 표현 모듈, 직교 투영면 생성 데이터 모듈, 직교 투영면 분류 데

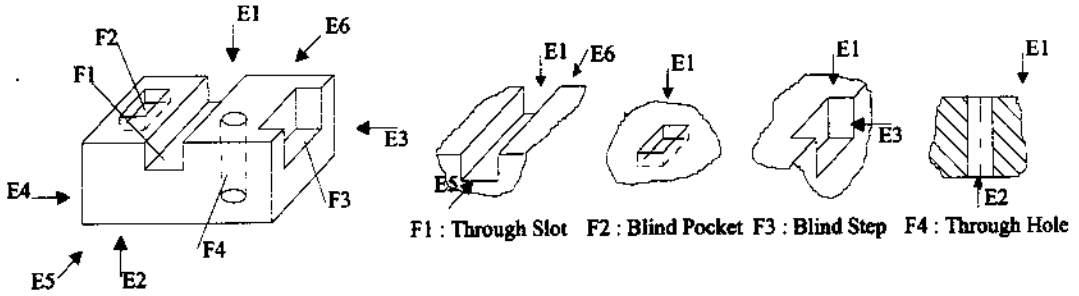


그림 15. 공구의 접근방향의 예

표3. 특징형상 데이터베이스

Feature ID		특징형상의 고유한 번호
Feature Name		인식된 특징형상
Feature Recognition Type		특징형상을 인식하기 위한 4가지 유형중 하나
Geometric Data	Component Face	특징형상 구성면 (비수평면, 하위 수평면, 일반 투영면)
	Splitting Face & Vertex	분할된 하위 수평면과 분할 하위 수평면을 구성하는 4개의 점
Process Planning Data	Feature Relation	특징형상들간의 이진형상관계를 규정
	Feature Precedence	특징형상들간의 선후관계를 표시
	Feature Approach Direction	특징형상에 대한 공구의 접근방향

이타 관리 모듈, 특징형상 인식 알고리즘 및 특징형상 데이터베이스를 작성하여 검증하였다.

마지막으로 본 연구에서의 특징형상 인식 알고리즘은 2차원 도형의 직선운동으로 생성되는 2.5차원 특징형상에 국한하여 적용되었지만 투영방향의 전환에 대한 연구를 통하여 일반적인 형태의 3차원 모델의 특징형상 인식으로의 확장도 가능하다.

참고 문헌

[1] Shah, J.J., "Assessment of Features Technology," *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No. 5, pp. 331-343, 1991.

[2] Case, K., and Gao, J., "Feature Technology: an Overview", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 6, No. 1, pp.2-12, 1988

[3] Kyprianou, L.K., "Shape Classification in Computer-Aided Design," PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge, England, July 1980.

[4] Dong, X., "Geometric Feature Extraction for Computer-Aided Process Planning," PhD Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, 1988.

[5] Perng, D.B., Chen, Z., and Li, R.K., "Automated 3D Machining Feature Extraction from 3D CSG Solid Input," *Computer-*

- Aided Design*, Vol. 22, No. 5, pp. 285-295, 1990.
- [6] Joshi, S., and Chang, T.C., "Graph-based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3D Solid Model," *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
- [7] Meeran, S., and Pratt, M.J., "Automated Feature Recognition from 2D Drawings," *Computer-Aided Design*, Vol. 25, No. 1, pp. 7-17, 1993.
- [8] Mantyla, M., *Introduction to Solid Model*, Computer Science Press, 1988.
- [9] Anand, V.B., *Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- [10] Chang, T.C., *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [11] Joshi, S., Vissa, N.N., and Chang, T.C., "Expert Process Planning System with Solid Model Interface," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No 5, pp. 863-885, 1988.
- [12] Chang, T.C., and Wysk, R.A., *An Introduction to Automated Process Planning Systems*, Prentice-Hall, 1985.
- [13] Adiga, S., *Object-Oriented Software for Manufacturing System*, Chapman & Hall, 1993.
- [14] Pohl, L., *Object-Oriented Programming Using C++*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc, 1993.
- [15] Coad, P., and Nicola, J., *Object-Oriented Programming*, Prentice Hall, 1993.