

# 공정계획의 자동화를 위한 각주형 파트의 특징형상 인식 : 확장된 AAG 접근 방법

지원철\* · 김민식\*\*

## Feature Recognition of Prismatic Parts for Automated Process Planning : An Extended AAG Approach

Won Chul Jhee\*, Min-Sik Kim\*\*

### Abstract

This paper describes an approach to recognizing composite features of prismatic parts. AAG (Attribute Adjacency Graph) is adopted as the basis of describing basic feature, but it is extended to enhance the expressive power of AAG by adding face type, angles between faces and normal vectors. Our approach is called Extended AAG (EAAG). To simplify the recognition procedure, feature classification tree is built using the graph types of EAAG and the number of EAD's. Algorithms to find open faces and dimensions of features are exemplified and used in decomposing composite features. The processing sequence of recognized features is automatically determined during the decomposition process of composite features

<Keywords> CAPP, Extended AAG, Composite Feature Recognition

## 1. 서 론

최근 CAD/CAM 기술의 급격한 발전에도 불구하고, 설계로부터 최종제품의 생산에 이르는 전과정을 완전 자동화하기 위해서는 아직도 해결해야 할 애로가 많이 있다. 특히 CAD기술의 발달은 설계자료의

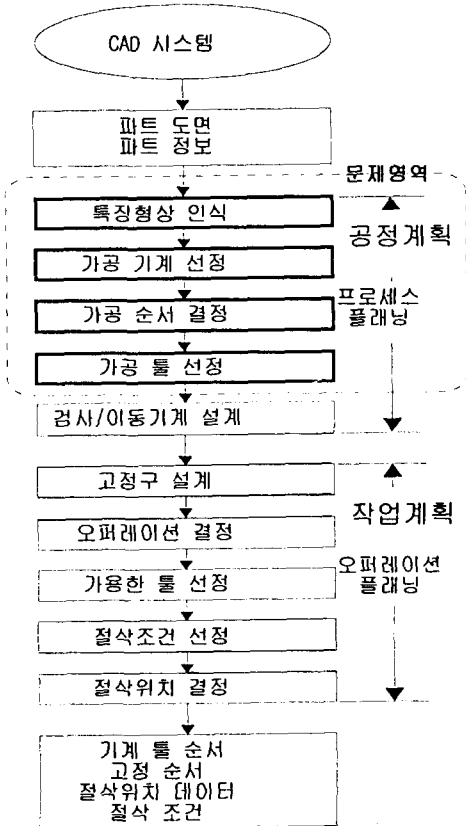
전산화 및 설계자동화에 크게 기여했지만, 설계자료로부터 실제 생산작업에 필요한 가공정보를 추출해내는 과정, 즉 공정계획의 자동화는 상대적으로 발전이 늦어져 왔다. 따라서 CAD와 CAM 사이의 정보 전달의 중계 역할을 수행하는 공정계획을 자동화하는 일, 즉 CAPP (Computer Aided Process Planning) 시스템을 구축하는 것은 현재 공장자동화를 달성하기

\* 홍익대학교 산업공학과

\*\* 현대정보기술

위해 해결해야 할 가장 시급한 과제로 인식되고 있다 (Alting & Zhang, 1988 ; Kanumury & Chang, 19 91 ; Marefat & Kashyap, 1993).

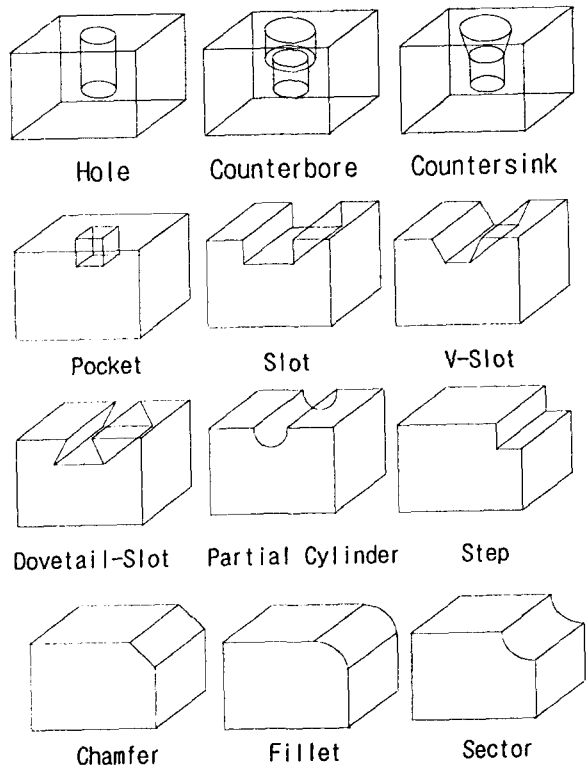
신규부품의 설계 및 가공은 <그림 1>에서 볼 수 있는 바와 같이 CAD 시스템으로 부터 설계된 부품의 도면 및 관련 정보를 넘겨 받아 가공기계 및 가공 순서를 결정하는 공정계획 과정과 공정계획의 결과에 실제 작업현장 여건을 반영하는 작업계획(Operation Planning) 과정을 거쳐 이루어지게 된다. 이 중 본 연구의 대상인 공정계획에서는 부품도면 및 정보로부터 해당부품을 구성하는 특징형상(Features, <그림 2>참조)들을 인식하고 필요한 공작기계들을 선정한 후, 특징형상들의 위치관계를 파악하여 가공순서를 결정하는 것이다.



<그림 1> CAPP의 연구 대상 영역

공정계획 과정중에서 해결하여야 할 첫 번째 과제는 해당부품을 구성하는 <그림 2>에서와 같은 특징형상들을 인식하는 과정으로써 공정계획의 자동화에 큰 걸림돌이 되고 있어 많은 연구가 있었지만 아직도 해결해야 할 문제가 많이 남아있다. 최근 특징형상 인식의 어려움을 감안하여 설계시 부터 사전에 정의된 특징형상만을 사용하여 설계하는 Feature-based Design이 제안되기도 했지만 이는 설계자의 설계의도를 반영하는데 많은 제약이 따른다는 단점이 있다(Anderson & Chang, 1990 ; Shah, 19 91).

본 연구에서는 각주형 부품의 특징현상 인식을 주목적으로 하는데 이와 관련된 연구로는 Chamberlain et al (1993), Der-Baan et al (1990), Pande & Walve-



<그림 2> 특징형상의 예

kar (1992) 등이 있다. 공정계획의 출발점인 특징형상의 인식을 위하여 Joshi와 Chang [1987]에 의해 개발된 Attribute Adjacent Graph (AAG)를 확장하여 사용하고자 한다. AAG는 특징형상의 인식을 간편하게 해주는 장점이 있는 반면에 예를 들어 Slot과 V-Slot이 똑같은 AAG로 표현되어 구별할 수 없다는 단점이 있다. 따라서, AAG의 표현방식을 확장하여 특징형상의 인식에 있어서의 제약을 없애고, CAPP 시스템의 설계에 있어 많은 문제점을 발생시켰던 복합 특징형상의 인식 및 이의 가공 특징형상으로의 변환과 인식된 특징형상들의 가공순서의 결정을 보다 쉽게 할 수 있는 표현방법을 개발하였다. 이와 같이 확장된 AAG에 의한 각주형 부품의 인식절차를 개발하기 위해 B-rep형태로 표현된 CAD 자료로 부터 필요한 자료들을 추출하여 객체지향접근법에 의해 관련자료들을 정리 보관하는 것으로 가정하였다(김민식과 지원철, 1994).

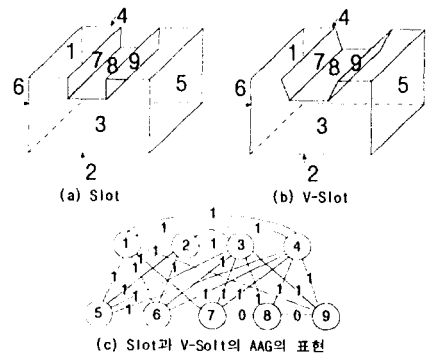
본 연구의 내용을 정리하면 2장에서는 확장된 AAG (Extended AAG, EAAG)에 의한 특징형상의 인식에 대해 설명하였고, 3장에서는 복합특징형상들을 가공 전략을 고려한 가공특징형상으로 변환시키기 위해 개방면인식 및 가공치수의 결정에 대한 알고리즘들을 설명하였다. 4장에서는 예제를 통하여 본 연구에서 개발한 특징형상의 인식에 관한 접근방법을 설명하였다.

## 2. EAAG에 의한 특징형상 인식

### 2.1 AAG의 확장

CAD와 CAPP 사이에 특징형상과 관련된 정보의 교환을 위해서 Joshi & Chang [1988]이 제안한 직교하는 두면의 만남 조건으로써 특징형상을 인식하는

AAG(Attribute Adjacent Graph)는 그래프  $G=(N,A,T)$ 로 정의된다. 여기서, N은 노드의 집합이고, A는 노드를 연결하는 아크의 집합이며, T는 아크의 속성 집합(Concave : 0, Convex : 1)을 나타낸다. AAG의 특징으로는 첫째, 특징형상의 인식 과정을 전방향 추론으로 구현할 경우에도 탐색의 효율성을 기할 수 있으며, 둘째, 단순 특징형상 뿐만 아니라 복합 특징형상의 인식이 가능하고, 셋째, 충분한 인식 절차 차이기 때문에 특징형상의 추가와 변경에 따른 국부적인 공정계획의 변경이 가능하다는 점이다[T. Laakko & M.Mantyla, 1993]. 또한, <그림3 (a)>와 같은 특징형상을 인식함에 있어서 기존의 규칙베이스 내에서의 Henderson [1984] 이나 Kung [1984] 등의 규칙표현과 비교하면(Iwata, 1988; Wang & Wy나, 1988), <그림3 (d)>와 같이 AAG 사용이 인식 규칙의 표현을 간결하게 할 수 있다는 이점도 가진다. 하지만 <그림3 (a)>와 <그림3 (b)>의 서로 다른 두 특징형상이



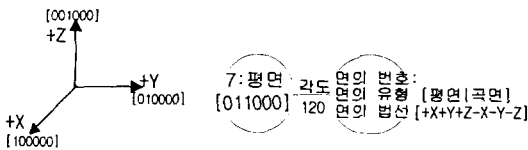
인식방법	인식 절차
[Henderson, 1984; Kung, 1984] Production Rule	IF (7면과 8면이 인접) AND (8면과 9면이 인접) AND (7면과 8면의 Concave 각도가 90°) AND (8면과 9면의 Concave 각도가 90°) THEN SLOT
AAG Rule	IF (속성이 0인 아크로 연결된 노드가 3개) THEN SLOT

(d) Slot 인식 룰

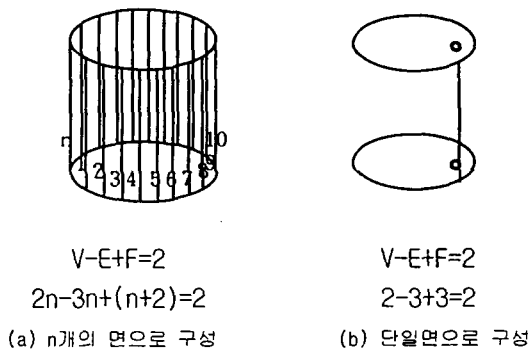
<그림 3> AAG 표현 방법 및 인식 룰

〈그림 3 (c)〉와 같이 같은 형태의 AAG로 표현되는 단점이 있다.

따라서, 더 많은 특징형상들의 인식을 보다 용이하게 하고, 인식된 특징형상의 가공에 필요한 정보들을 손쉽게 얻기 위해서 기존의 AAG에 〈그림 4〉에서와 같이 면의 유형(NT) - 평면, 곡면 - 과 면의 법선 벡터(NV) [+X+Y+Z-X-Y-Z] 및 면들 사이의 각도(TA) 정보를 추가한 그래프 G=(N, NT, NV, A, T, TA)로 특징형상들을 표현하기로 하고 이를 EAAG (Extended Attribute Adjcent Graph)라고 부른다. EAAG에서 노드의 유형에 곡면을 추가함으로써 인식 가능해진 특징형상인 Hole의 표현은 오일러(Euler) 공식을 만족하도록(Chang, 1990) 〈그림 5 (b)〉에서와 같이 꼭지점(V) 2개, 모서리(E) 3개, 면(F) 3개로 정의하였다. 즉, 〈그림 5 (a)〉와 같이 Hole의 측면을 표현함에 있어 n개로 구성하지 않고 속성이 곡면이 단일면(n=1)으로 나타내었다. 〈그림 6〉은 EAAG에 의해 특징형상을 표현하는 예들을 나타낸다.

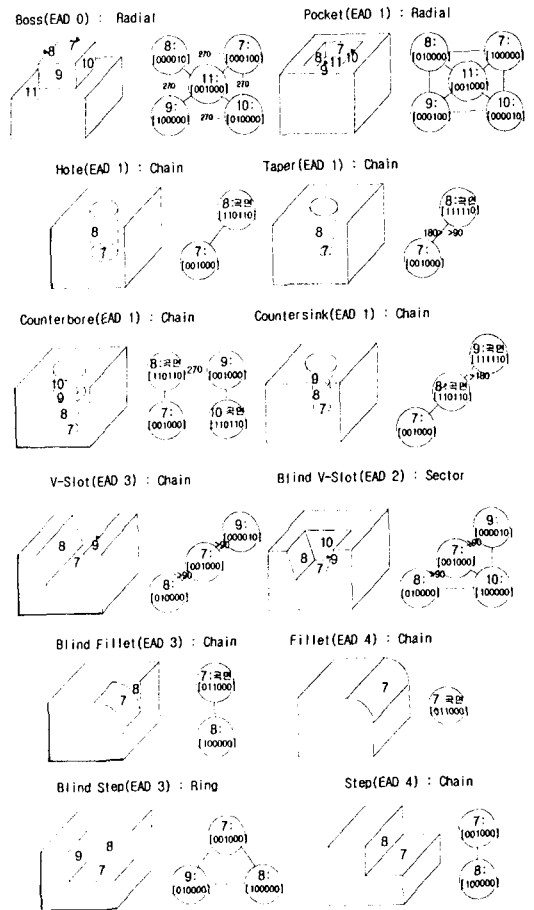


〈그림 4〉 EAAG 표현과 관련 정보



〈그림 5〉 Hole 구성요소

〈그림 6〉의 특징형상 중에서 Hole, Slot, Step에서 파생된 특징형상들을 정의하는 과정을 기술하면 다음과 같다. 첫째, 특징형상을 구성하는 노드들 중에서의 면의 유형이 곡면인 경우, 곡면인 노드에 아크의 속성이 1인 노드를 선정하는데 이때 선정된 면의 유형이 곡면이면 이 노드를 추가하고 아크를 실선과 구분되는 점선으로 표시하여 Counterbore와 Countersink 특징형상으로 정의하였다. 둘째, 분리된 그래프가 〈그림 7〉의 Chain 유형인 경우, 이를 구성하는 노드들의 위상학적 관계를 조사하여 속성 1인 아크가 순환(Cycle) 형태를 이루면 이 아크들을 점선으로

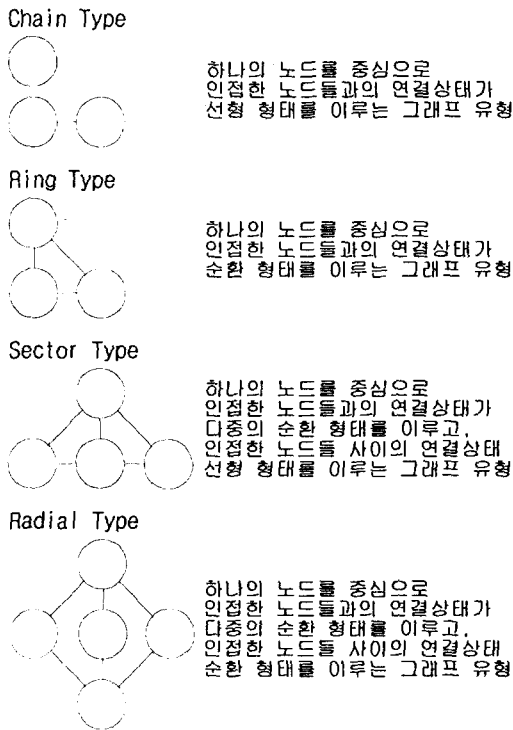


〈그림 6〉 Extended-AAG 특징형상 정의

표시한 후 Boss 특징형상으로 정의하였고, 이는 추후 <그림 10>에서와 같이 가공과 관련된 Step 특징형상 4개로 분해된다. 마지막으로, 단일 노드의 법선벡터 표현이 [011010], [011000]과 같이 1의 개수가 2개 이상으로 구성되어진 경우, 이 면의 유형이 곡면이면 Partial Cylinder와 Fillet 특징형상으로 정의하였다.

## 2.2 특징형상의 인식

<그림 6>에서 볼 수 있듯이 노드 사이의 위상학적 관계로 표현한 EAAG에서는 각 특징형상의 그래프들이 <그림 7>의 4가지 기본적인 그래프 유형 중 하나에 속하게 된다. 따라서 어떤 부품에 대해 얻어진 EAAG로부터 특징형상들에 대응하는 그래프를 얻기 위해 EAAG를 분해하는 과정이 곧 해당 부품을 구성하는 특징형상들을 인식하는 과정이 된다.



<그림 7> 그래프 유형 및 정의

<그림 8>은 EAAG로 부터 특징형상들을 얻기 위한 그래프 분해 알고리즘의 일부를 표현한 것이며, 분해한 그래프들은 다시 해당 그래프 유형에 대응될 수 있는 특징형상들만을 구별해내는 인식절차를 거치게 된다. 만약 특징형상을 구성하는 노드의 루프 유형이 Convex-hull이 아니면 이 노드는 그래프 분해시 재귀적으로 부그래프를 구성하는데 이용된다. 이상과 같은 인식절차에 의해 복합특징형상을 구성하는 특징형상들을 구별해 내는 예를 들어보면 다음과 같다.

```

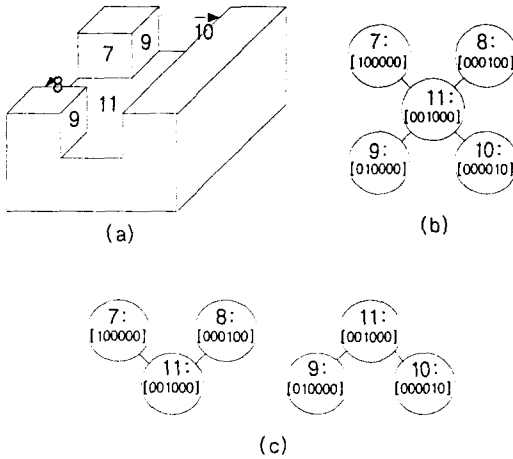
S0) EAAG 그래프를 구성;
S1) 속성이 1인 이프만을 갖는 노드를 제거: → Arc_Delete();
    그래프 유형과 EAD 개수에 의한 특징형상 인식: → Recognizer();
S2) 2 방향의 법선값을 갖는 노드를 공통으로 하는 속면 노드들이 동일한
    면의 방정식을 가지면 이들 노드는 하나로 병합된 후: → Node_Merger();
    그래프 유형과 EAD 개수에 의한 특징형상 인식: → Recognizer();
S3) 2 방향 법선 노드를 중심으로 미 인식된 복합 특징형상의 그래프를
    Radial, Sector, Ring, Chain 유형 순으로 분해: → Graph_Decomposition();
    그래프 유형과 EAD 개수에 의한 특징형상 인식: → Recognizer();
S4) 7 (미 인식된 특징형상의 그래프가 존재) S3수행: 그래프 분해 종료;

Graph_Decomposition()
...
switch(그래프 유형)
case "Sector":
    #속면 노드에 2 법선 방향의 노드 1개인 인접 Ring으로 분해;
    else(노드 → 비타면과 속성이 1인 인접 노드;
        노드 → 2 방향의 법선값을 갖는 인접 노드;
        노드 → 중심 노드에 법선 방향이 중복되는 인접 노드;
        ? (인접 노드 존재) "Radial"로 구성;
    )
break;
case "Ring" case "Chain":
    #속면 노드의 인접 노드 존재;
    노드 → 비타면과 속성이 1인 인접 노드;
    노드 → 2 방향의 법선값을 갖는 인접 노드;
    노드 → 중심 노드와 법선 방향이 중복되는 인접 노드;
    ? (인접 노드 존재) "Sector"로 구성;
}
...
}
    
```

<그림 8> 복합 특징형상의 그래프 분해 알고리즘

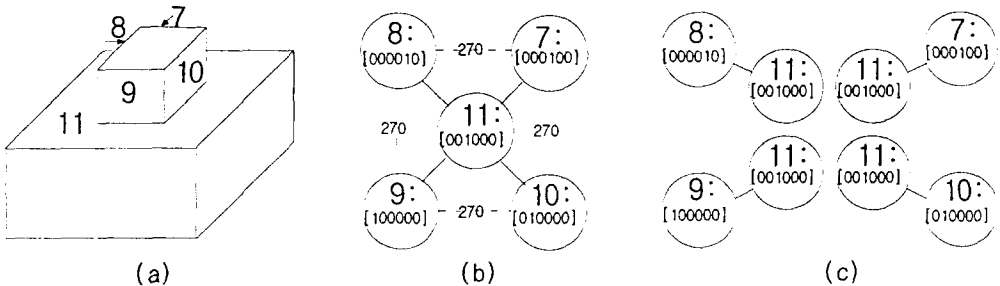
<그림 9>에서와 같이 두 Slot이 인접하는 복합 특징형상의 인식 과정을 살펴보면, 기존의 AAG에서는 <그림 9 (a)>의 복합 특징형상을 (7,11,8) (8,11,10) (9,11,10) (9,11,7) 노드로 구성된 Slot 또는 (7,11) (8,11) (9,11) (10,11) 노드로 구성된 Step 들의 조합으로 그래프의 분해가 가능하여 두 대안에 대해 기하학적

측면에서 검증한 후 실현 가능한 최종 특징형상을 얻게 된다. 하지만, EAAG에서는 노드의 법선 방향과 노드의 유형 정보를 이용함으로써 특징형상을 쉽게 얻을 수 있다. 즉, <그림 9 (b)>에서 노드의 법선 방향을 비교하면 노드 7과 노드 8의 법선 방향이 마주 보게 대응되고, 노드 9와 노드 10의 법선 방향이 마주 보게 대응되기 때문에 <그림 9 (c)>에서와 같이 분해하여 (7,11,8)과 (9,11,10)로 구성되는 두개의 Slot 특징형상을 알 수 있다.



<그림 9> 두개의 Slot이 인접한 경우

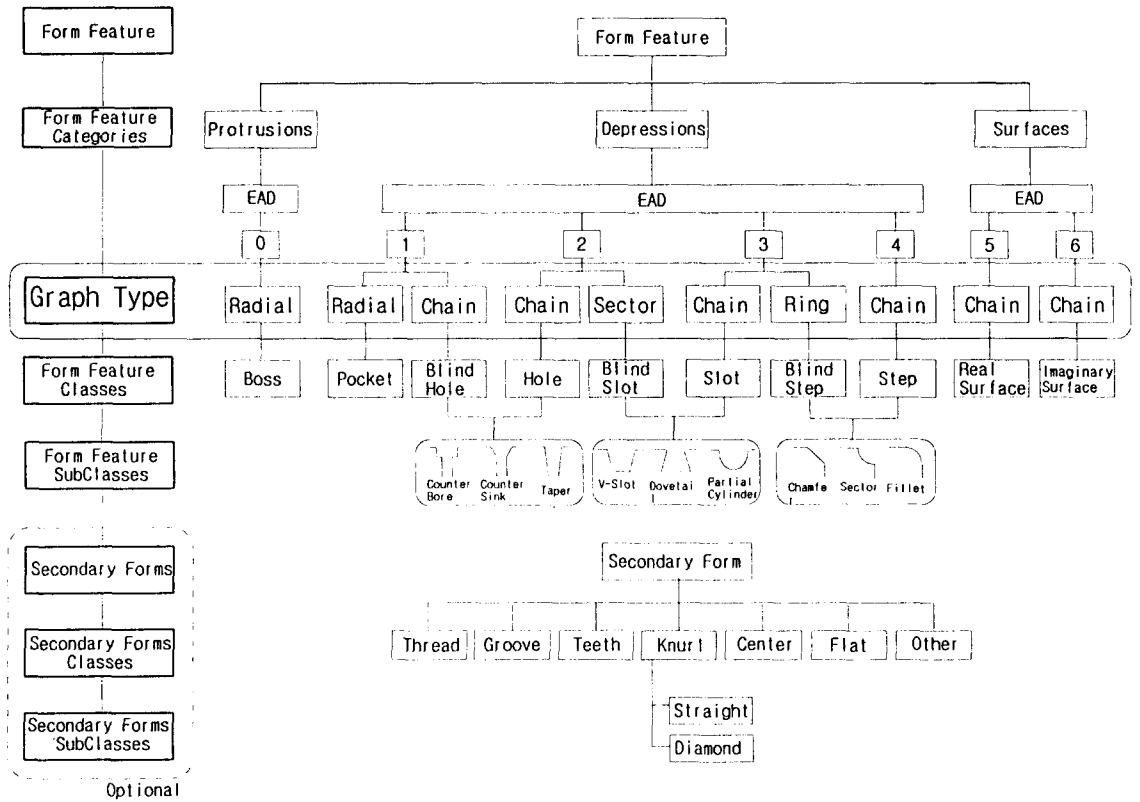
또한, <그림 10 (a)>와 같은 포트루전 특징형상은 설계 측면의 특징형상이기 때문에 가공과 관련된 특징형상으로 변경을 하여야 한다. 따라서, 법선 방



<그림 10> 포트루전 특징형상

향이 +Z [001000]인 바닥면(Bottom\_face) 11을 기준으로 <그림 10 (c)>와 같이 4개의 Step 특징형상으로 분리 인식할 수 있다.

분해된 그래프에 대응하는 특징형상의 구별을 원활히 하기 위해 Gindy [1989]가 제시한 계층 구조를 이용할 수 있다. Gindy는 절삭공구의 접근 가능 방향 (EAD)의 수, 경계 유형(Open or Closed), 절삭공구의 출구 상태 (Through or Not\_Through) 등의 정보를 이용하여 특징형상의 계층구조를 형성하였다. 하지만 EAAG를 사용하는 경우 <그림 11>에서와 같이 특징형상의 계층구조를 간략히 재구성 할 수 있다. 즉, EAAG의 기본 그래프 유형들 즉 Radial, Sector, Ring, Chain은 경계 유형 및 절삭공구의 출구 상태에 대한 정보를 이미 갖고 있으므로 계층구조를 한단계 없앨 수 있는 것이다. 또, 절삭공구의 접근 가능한 방향의 개수는 특징형상을 구성하는 노드들의 법선 방향 구성 요소들에 대해 비트 OR연산(Bitwise OR Operator)을 함으로서 쉽게 구할 수 있다. 즉, <그림 12>에서와 같이 특징형상을 구성하는 노드들의 법선 방향 구성 요소 중의 0의 개수가 특징형상을 가공하기 위한 절삭공구의 접근 가능한 방향의 개수인 것이다. <그림 11>은 인식된 특징형상이 갖는 형상적 특징들을 계층적으로 잘 나타내고 있으며, 추후 추가될 특징형상을 파생된 특징형상으로 쉽게 분류할 수 있는 장점이 있어 객체지향접근법에 의한 특징형상



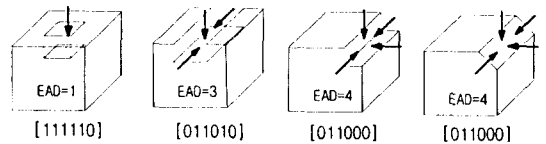
〈그림 11〉 재구성한 특징형상의 계층 구조

인식 시스템의 구현을 용이하게 해준다.

〈표 1〉은 〈그림 6〉과 〈그림 11〉로 부터 얻어진 것으로, 절삭공구의 접근 가능한 방향과 특징형상의 그래프 유형, 특징형상을 구성하는 노드 및 아크의 개수에 대한 정보를 조합하여 사용함으로써 AAG에 의해 인식이 불가능하였던 특징형상들도 인식할 수 있으며, 인식된 특징형상의 검증 자료로도 사용된다. 예를 들면, Step과 Blind-Chamfer는 면의 법선 벡터 구성 요소를 조사함으로써 구별이 가능하고, Step과 Blind-Partial Cylinder는 면의 유형(평면, 곡면)을 조사함으로써 구별이 가능하다. 또한, Step과 Sector의 경우에도 면의 유형에 의해서 구별이 가능하다.

〈그림 11〉 및 〈표 1〉의 계층적으로 분류된 특징

형상들은 아직까지 기하학 측면의 특징형상으로 가공에 적합한 가공 특징형상으로의 변경이 필요하다.



〈그림 12〉 절삭공구의 접근 가능한 방향의 개수

〈표 1〉 특징형상 인식 및 검증을 위한 자료

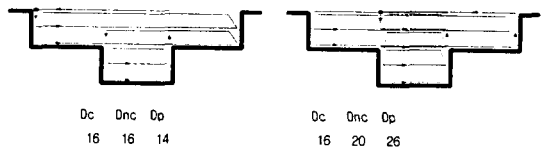
EAD	그래프 유형	특징형상 유형	노드수 (꼭면노드)	아크수
0	Radial	Boss	5 (0)	8
1	Radial	Pocket	5 (0)	8
	Chain	Counterbore	4 (2)	3
		Countersink	3 (2)	2
		Taper	2 (1)	1
		Hole	2 (1)	1
2	Sector	Blind Slot	4 (0)	5
		Blind V-Slot	4 (0)	5
		Blind Dove Tail	4 (0)	5
	Chain	Blind Partial Cy-	2 (1)	1
		TroLightHole	1 (1)	0
3	Ring	Blind Step	3 (0)	3
	Chain	Slot	3 (0)	2
		V-Slot	3 (0)	2
		Dovetail	3 (0)	2
		Partial Cylinder	1 (1)	0
		Blind Chamfer	2 (0)	1
		Blind Fillet	2 (1)	1
		Blind Sector	2 (1)	1
4	Chain	Step	2 (0)	1
		Chamfer	1 (0)	0
		Fillet	1 (1)	0
		Sector	1 (1)	0

### 3. 복합 특징형상의 가공전략

#### 3.1 절삭공구의 움직임 최소화

〈그림 13〉의 왼쪽 그림은 상단 Slot 가공 후 하단 Slot을 가공하는 경우이고, 〈그림 13〉의 오른쪽 그

림은 가운데 slot 가공 후 양 옆 Step을 가공하는 경우이다. 이때 절삭에 의한 절삭공구의 수평 이동 거리(Dc)는 두 대안에 대해 모두 동일하기 때문에, 절삭과 무관한 절삭공구의 수평 이동 거리(Dnc)와 절삭공구의 수직 이동 거리(Dp)를 최소로 하는 것이 곧 가공에 필요한 절삭공구의 전체 움직임을 최소화한다. 다시 말하면, 복합 특징형상의 경우에 〈그림 13〉의 왼쪽 그림과 같이 가공하는 것이 절삭공구의 움직임(Dc+Dnc+Dp)을 최소화한다. 따라서, 2장에서 인식된 복합 특징형상이 가공 전략(절삭공구의 움직임을 최소화)을 반영하는 가공 특징형상으로 변환하기 위해서 특징형상을 구성하는 면들의 위상 관계로써 가공을 위해 실제로 절삭공구가 접근할 수 있는 개방면을 구하여야 한다.

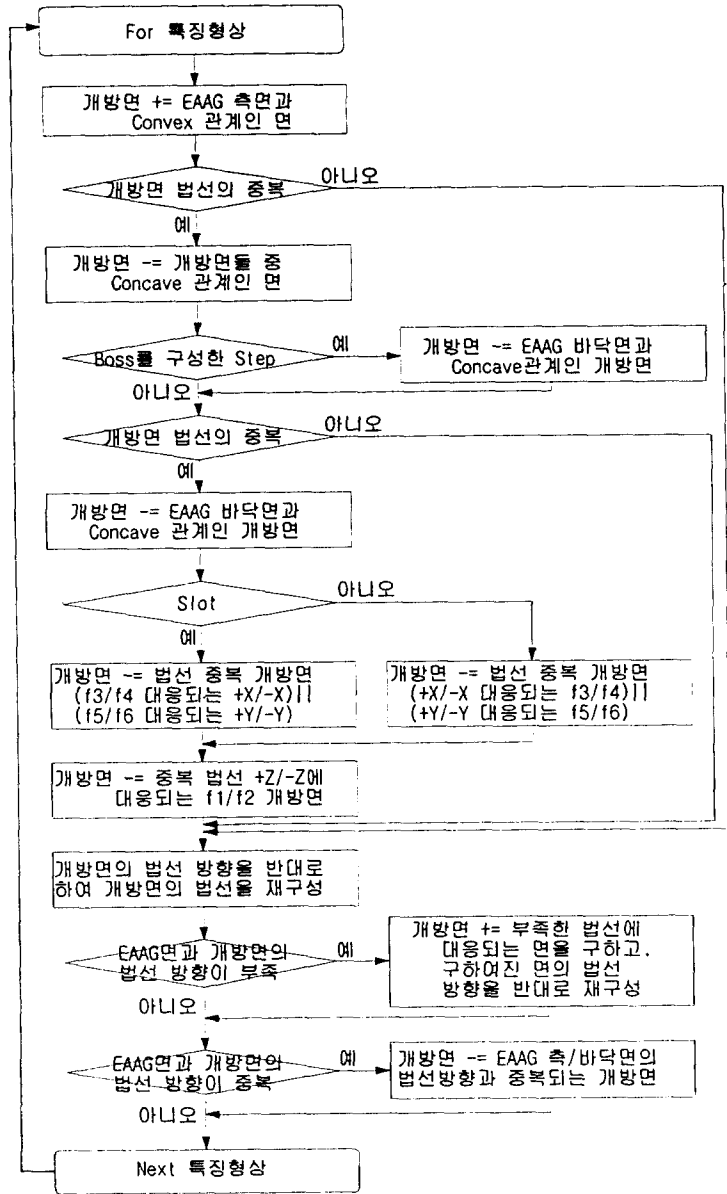
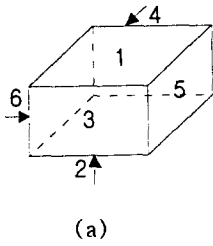


〈그림 13〉 절삭공구의 이동 거리 (Slot 복합 특징형상) (수치는 단위 이동 거리를 나타냄)

#### 3.2 개방면 인식 알고리즘

접근 가능한 방향이란, 절삭공구가 특징형상으로 접근시 방해받지 않는 경로로 각주형 파트의 경우는 최대 6개의 방향이 존재하며 구하여야 할 개방면의 법선 방향과 일치한다. 이송(feed) 방향이란, 특징형상 가공을 위해 절삭공구가 움직일 방향을 나타내는데, 이 방향은 개방면 중에서 하나의 실제 절삭공구 접근 방향이 결정되고 남은 개방면들의 법선 방향으로 구성이 가능하다. 따라서, 개방면의 결정은 절삭공구의 절삭 경로 뿐만 아니라 복합 특징형상의 가공 순서를 결정하는 역할을 하기 때문에 공정계획에서 매우 중요한 과정이다.





(b)

<그림 14> 개방면 인식 알고리즘

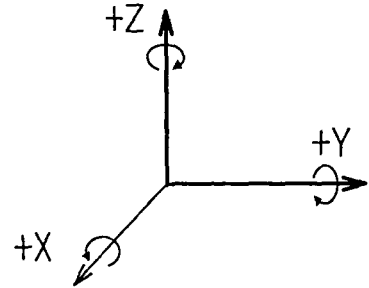
<그림 14 (a)>는 개방면 인식 알고리즘을 기술하는데 있어서 각주형 파트의 특징형상 가공전 원재

료에 면 번호를 법선 +Z, -Z, +X, -X, +Y, -Y방향에 대응되게 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 부여한 상태를

나타낸다. 이때, 특징형상을 구성하는 면들간의 관계 - Convex 또는 Concave -에 대한 정보가 필요하다. <그림 14 (b)>의 개방면 인식 알고리즘에서 부족한 법선  $-X, +X, -Y, +Y, -Z, +Z$  방향에 대응되는 <그림 11>의 가상면(Imaginary Surface)은 각각 3, 4, 5, 6, 1, 2이다. 이때, 부족한 법선방향이란 특징형상을 구성하는 면들의 법선과 기 인식된 개방면들의 법선을 구성하는 요소들을 비트 OR 연산한 결과 0으로 표시되는 법선의 방향을 말하며, 이는 추가로 인식되는 개방면이다. 가상포켓(Virtual Pocket)으로 분류되는 특징형상의 경우, 부족한 법선 방향에 대응되는 면은 특징형상의 측면과 위상 관계 1이고 부족한 법선 방향과 반대의 법선 방향을 가지는 노드이다. 노드의 법선 벡터 방향을 반대로 재구성하는 절차를 예로 들면, 법선 벡터  $+X[100000]$  방향의 경우는 3비트 오른쪽 이동( $\gg 3$ )연산으로 법선 벡터  $-X[000100]$  방향을 구하고, 반대로 법선 벡터  $-X$  방향에서  $+X$  방향으로 재구성하는 경우는 3비트 왼쪽 이동( $\ll 3$ ) 연산으로 구한다.

### 3.3 특징형상 치수 결정

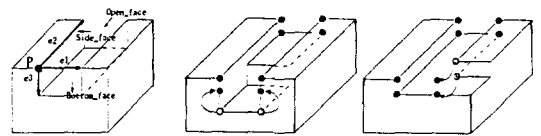
치수(Dimension) 결정 설계자가 정의한 도면의 치수가 가공 특징형상과 일치하지 않기 때문에, 가공에 필요한 특징형상의 치수를 얻어야 한다. 이를 위해서는 특징형상의 유형(Feature Graph), 특징형상의 참조 가능한 위치(Reference Point) 정보 및 특징형상의 바닥면(Bottom Face), 측면(Side Face), 개방면(Open Face) 등에 관한 정보가 필요하다. 참조 가능한 위치는 <그림 15>에서와 같이 자유도 6개 - 이동 3개, 회전 3개 - 의 제약에 의해서 구성된 좌표로 WCS (World Coordination System)로 정의하며, UCS (User Coordination System)는 WCS안 어디에서나 UCS의 원점이 놓일 수 있고, 회전 가능하기 때문에 특징형상의 치수를 표현하는데 사용된다(El-



<그림 15> 특징형상의 위치와 치수 표시

maraghy *et al*, 1994).

<그림 16 (a)>와 같은 단순 특징형상의 폭( $e1$ )은 특징형상의 측면과 직교하는 바닥면의 모서리 크기로, 길이( $e2$ )는 직교하는 특징형상 구성면의 공통 모서리 크기로, 깊이( $e3$ )는 특징형상의 바닥면 법선 방향과 평행한 측면의 모서리 크기에 의해서 구할 수 있지만, 복합 특징형상의 경우에는 각 특징형상마다 고려해야 할 요소들이 조금씩 다르게 되는데, <그림 16 (b)>의 Slot 복합 특징형상과 <그림 18>의 Blind-Slot 복합 특징형상의 경우 치수를 구하는 절차를 Pseudo-code 형태로 표현한 것이 각각 <그림 17>와 <그림 19>이다.



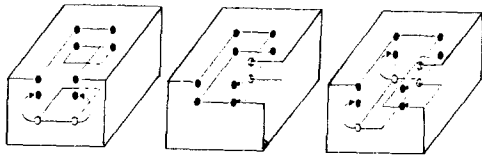
(a) 단순 특징형상 (b) 복합 특징형상

<그림 16> Slot 특징형상

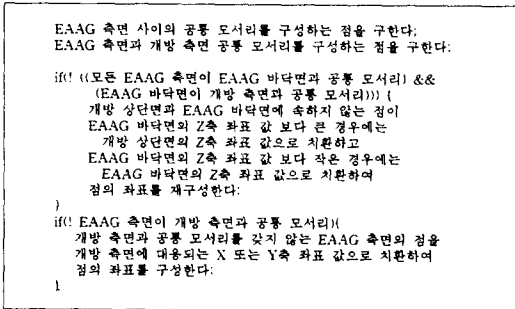
```

개방 측면과 EAAG 측면의 공통 모서리를 구성하는 점을 구한다:
if!! ((모든 EAAG 측면이 EAAG 바닥면과 공통 모서리를 가짐)
&&
(EAAG 바닥면이 개방 측면과 공통 모서리를 가짐))) {
  개방 상단면과 EAAG 바닥면에 속하지 않는 점의
  EAAG 바닥면의 Z축 좌표 값 보다 큰 경우에는
  개방 상단면의 Z축 좌표 값으로 치환하고
  EAAG 바닥면의 Z축 좌표 값 보다 작은 경우에는
  EAAG 바닥면의 Z축 좌표 값으로 치환하여
  점의 좌표를 재구성한다:
}
if!! EAAG 측면이 개방 측면 모두와 공통 모서리를 가짐) {
  개방 측면과 공통 모서리를 갖지 않는 EAAG 측면의 점에
  공통 모서리를 갖지 않는 개방 측면의 X 또는 Y축 좌표
  값을 대치하여 점의 좌표를 재구성한다:
}
    
```

<그림 17> Slot 복합 특징형상의 치수 계산



<그림 18> Blind\_Slot 복합 특징형상



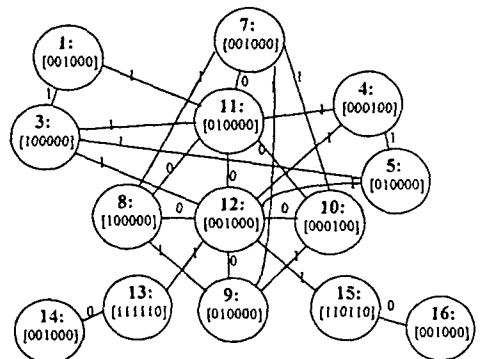
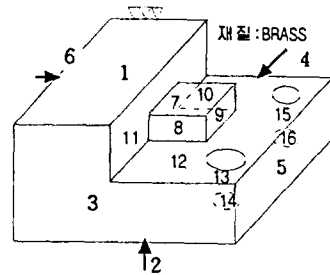
<그림 19> Blind\_Slot 복합 특징형상의 치수 계산

이제까지 EAAG 특징형상이 개방면과 치수 정보를 이용하여 가공 전략을 내포하는 가공 특징형상으로 재구성되는 과정을 설명하였다. 즉, 복합 특징형상은 단순 특징형상들로서 분해되었고, 복합 특징형상의 치수 결정 프로시디어에 의한 가공 특징형상의 꼭지점 정보는 NC 코드 생성을 위한 CL 자료로서 이용되기 때문에 재구성된 EAAG 특징형상으로부터 파트의 특징형상 가공을 위한 NC 코드를 자동으로 생성해 낼 수 있으며, 본 논문에서는 다루지 않았지만 객체지향 접근법에 의해 각 특징형상에 대응되는 가공기계와 절삭공구들을 쉽게 대응 시킬 수 있다.

### 4. 적용 예제

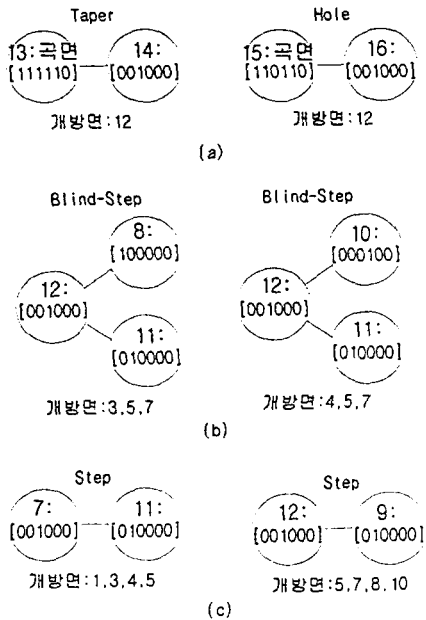
본 논문의 접근방법인 EAAG에 의한 특징형상 인식방법을 두 개의 예제를 통하여 설명한다.

첫 번째 예제는 <그림 20>의 파트와 같이 재질이

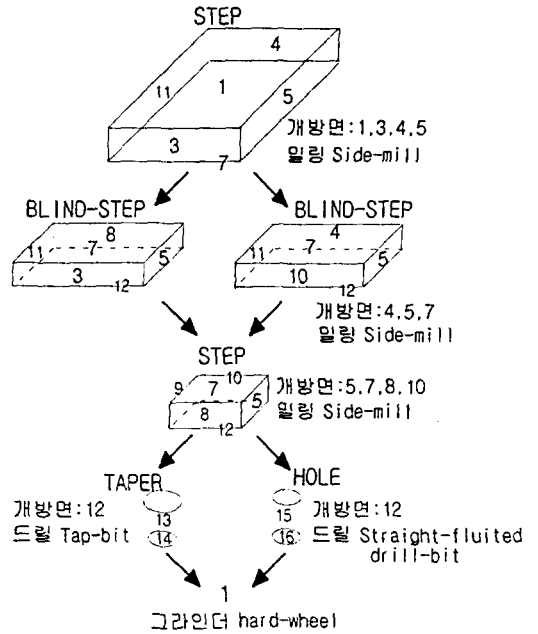


<그림 20> 예제 파트 1

Brass이고 Step안에 프로트루전 및 Hole과 Taper로 구성되는 형상으로 공정계획을 수행하면, 첫째, EAAG를 사용하여 특징형상과 개방면을 구하는 과정으로 노드간의 속성이 1인 아크를 제거하면 <그림 21 (a)>와 인식되지 않은 그래프가 얻어진다. 이 그래프를 분해하면 Sector 유형이 얻어지며 이는 두 개의 Ring 유형으로 더 분해되어 <그림 21 (b)>가 얻어지고, Chain 유형의 그래프 <그림 21 (c)>도 함께 얻어진다. 둘째, <그림 22>와 같이 (7,11) (9,12)로 구성되는 Step과 (8,12,11) (10,12,11) 로 구성되는 Blind-Step 특징형상의 치수를 구한다. 또한, Hole과 Taper는 참조 위치와 직경으로 특징형상의 치수를 결정하는데, 이로써 EAAG로 인식된 특징형상이 가공 전략을 내포하는 특징형상으로 재구성된다. 마지막으로, 가공 순서 및 절삭공구의 선정 과정으로, 특징형상 사이의 가공 순서 결정은 개방면에 대한 면의 가공여부를 검사하여 모두 가공되어 있으면 가공



<그림 21> 특징형상과 개방면 인식



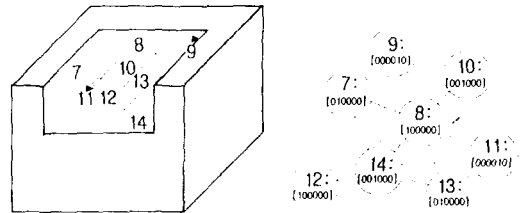
<그림 22> 복합 특징형상의 치수 결정



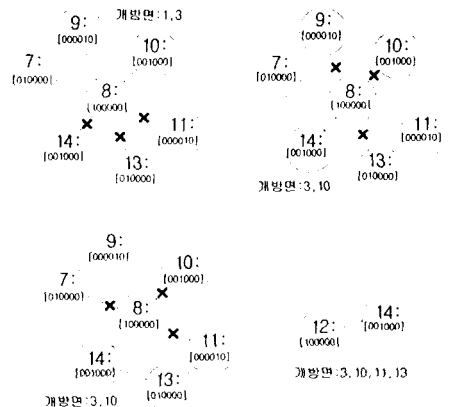
<그림 23> 가공 순서 및 절삭공구 선정

가능한 상태임을 인지하여 특징형상을 가공하고, 해당 면의 가공여부를 변경한다. 다음은 파트의 재질과 표면조도를 고려하여 특징형상 가공을 위한 기계와 절삭공구를 선정하면 <그림 23>과 같다.

두 번째 예제는 EAAG 접근방법의 유용성을 보이기 위해 <그림 24>와 같이 Blind Slot 안에 Protrusion이 있는 경우로 본 연구의 접근 방법을 적용하여 가공 특징형상의 인식 및 가공 순서를 나타낸 것이다. 이때, 아크의 X 표시는 <그림 8>의 복합특징형상 그래프 분해 알고리즘을 이용하여 <그림 7>의 그래프 유형을 얻는 과정으로 인식한 특징형상을 구성하는 면들과 관련이 없는 제거되는 노드를 나타낸다.



그래프 분해 =>



<그림 24> 적용 예제

## 5. 맺음말

본 연구에서는 각주형 파트의 공정계획을 자동화하기 위해 특징형상 인식문제를 다루었다. 기존의 연구들이 실제 가공을 고려하지 않고 특징형상의 인식 자체에만 중점을 두고, 사전에 결정된 특징형상들을 특정한 시스템의 표현구조에 맞게 재기술하여 가공순서를 정하기 때문에 복합 특징형상의 인식에 문제가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 복합 특징형상으로 부터 가공 전략을 감안한 특징형상을 얻을 수 있는 접근방법을 제시하였다. 특징형상의 표현방법으로는 Joshi & Chang에 의해 제시된 AAG를 채택하였으나, AAG의 표현력을 높이기 위해 확장된 AAG(EAAG)를 제시하였다. 특징형상의 인식을 보다 용이하게 하기 위해 EAAG내의 그래프 유형과 절삭공구의 접근가능방향 개수를 고려하여 특징형상의 분류체계를 정립하였다. 특히, 개방면 및 복합 특징형상의 치수를 구하는 알고리즘을 제시하고 이들을 이용하여 복합 특징형상내의 종속관계에 있는 특징형상들의 가공 순서를 결정할 수 있도록 하였다. 앞으로 개방면 및 특징형상의 치수를 구하는 알고리즘을 보다 일반화시키는 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- 김민식, 지원철, 각주형 파트의 프로세스플래닝 자동생성을 위한 객체지향시스템의 설계. 한국전 문가시스템학회 '94 추계학술대회, (1994), 125-135
- Alting, L. and H.Zhang, "Computer Aided Process Planning : the State-of-the-Art Survey," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.26, (1988), 553-586.
- Anderson, C. and T.C. Chnag, "Geometric Reasoning in Feature-based Design and Process Planning." *Computers and Graphics*, Vol. 14, No. 2, (1990) 225-235.
- Chamberlain, M.A., A. Joneja and T.C. Chang, "Protrusion-Feature Handling in Design and Manufacturing Planning," *CAD*, Vol.25, No.1, (1993), 19-28.
- Chang, T.C., *Expert Process Planning*, Addison-Wesley, (1990).
- Der-Baan, P., Z. Chen and R. Li, "Automatic 3D Machining Feature Extraction from 3D CSG Solid Input," *CAD*, Vol.22, No.5, (1990), 285-295.
- Elmaraghy, W.H., S.R. Valluri, B.M. Skubnik and P.D. Surry, "Intersection Volumes and Surface Areas of Cylinders for Geometrical Modelling and Tolerancing," *CAD*, Vol.26, No.1, (1994), pp.29-45.
- Gindy, N.N.Z., "A Hierarchical structure for form features", *Int'l J. of Production Researches*, Vol.27, No. 12, (1989), 2089-2103.
- Iwata, K., "Knowledge Based Computer Aided Process Planning," *Intelligent Manufacturing Systems*, (1988), 3-25.
- Joshi, S., and T.C. Chang, "Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3D Solid Model," *CAD*, Vol.20, No.2, (1988), 58-66.
- Kanumury, M., and T.C. Chang, "Process Planning in an Automated Manufacturing Environment," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.10, No.1, (1991), 67-78.
- Laakko, T., and M. Mantyla, "Feature Modelling by Incremental Feature Recognition," *CAD*, Vol.25, No.8, (1993), 479-492.
- Marefat, M., and R.L. Kashyap, "Automatic Construction of Process Plans from Solid Model Representations," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.22, No.5, (1992), 1097-1115.
- Pande, S.S. and M.G. Walvekar, "PC-CAPP : a Computer-Assisted Process Planning System for Pris-

- matic Components," *Computer Aided Engineering Journal*, Vol.6, No.4, (1989), 133-138.
- Shah, J.J., "Assessment of Feature Technology," *CAD*, Vol.23, No.5, (1991), 331-343.
- Wang, H.P. and R.A. Wysk, "A Knowledge-Based Approach for Automated Process Planning," *Int'l J. of Production Researches*, Vol.26, No.6, (1988), 999-1014.