

회전형상 부품에서의 가공형상 특장의 자동인식에 관한 연구 +

이경휘, 정무영
포항공과대학 산업공학과

Automatic Feature Recognition for Rotational Parts

Kyung-Hui Lee and Moo-Young Jung
Department of Industrial Engineering, POSTECH, Pohang, Korea, 790-600

ABSTRACT

This paper presents a comprehensive methodology of automatic feature recognition for rotational parts. The parts of interest are rotational without deviation. In stage one, IGES formatted data of 2D engineering drawings are transformed into three independent graphs through upperhalf profile. In stage two, recursive evaluations are made to recognize features and relevant information is acquired. Finally, an example is evaluated to demonstrate the recognition power of the developed algorithm for rotational features.

다[1]. 비교적 복잡한 회전형상인식에 관한 연구는 Li[5]에 의해 이루어졌는데 단지 링(Ring)과 홈(Groove)에 관한 형상 추출과정만을 제시하고 있으며 parent surface 형태를 평면 또는 축면으로 제한하고 있다.

본 연구는 완전회전형상형부품(rotational part without deviation)을 대상으로 하여 앞에서 지적한 문제점을 해결하고 형상인식력을 높이기 위한 인식방법론을 제시하고 있다. 부품의 설계데이터는 AUTOCAD/R11에서 제공된 IGES 형식을 이용하였으며 PC-386 에서 알고리즘을 구현하였다.

2. 부품의 표현

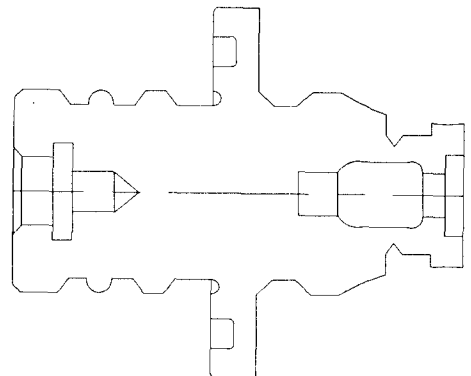
1. 서론

자동화된 CAPP(Computer Aided Process Planning) 시스템의 구현을 위해 가장 선행되어야 하는 연구는 CAPP 시스템에서 필요한 부품의 설계정보(주로 shape에 관한)를 CAD 시스템으로부터 이끌어 내기 위한 CAD 인터페이스 문제의 해결일 것이다. 형상인식(feature recognition)이란 이를 해결하기 위해 부품의 모양을 정의하는 점, 선, 면들의 기하학적인 요소들과 이들간의 상호관계정보들로부터 가공에 특별한 의미를 지니는 형태, 예컨대 hole, slot, pocket과 같은 형상정보들을 인식하는 것을 말한다[1]. 형상정보의 인식은 인식자체가 목적이 아니라 CAPP 시스템을 구성하는 여러 기능들, 즉 작업준비계획/가공순서 결정/fixture 계획/공구선정/가공변수 결정/공구경로계산에 입력정보를 제공하고자 하는 것이기 때문에 비록 인식과정이 어렵다 하더라도 많은 형상에 관한 정보를 다양한 형태로 제공해 줄 수 있어야 한다. 현재까지 구현된 CAPP 시스템들은 주로 사람에 의해 부품설계정보를 입력받는 경우가 대부분인데 이는 형상인식과정 자체에 존재하는 어려움 때문이다.

일반적으로 회전형부품의 도면을 작성할 경우 line과 arc로 그려진 투상도만으로도 부품을 충분히 표현할 수 있다. 지금까지 발표된 대부분의 형상인식시스템에서는 부품의 표현으로서 상부윤곽선(upper half profile)을 가정하고 있으며 단지 Li[5]와 Wang[6]의 연구에서만 2차원 설계도면으로부터 상부윤곽선을 생성하는 간단한 발견적 기법을 제시하였고 Chen[7]은 그래프를 이용하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서의 부품표현은 직선과 원호로 그려진 2차원 설계도면형태를 가정하고 있다. 도면작성시 수직선은 접점에 관계없이 하나의 entity로서 표현할 수 있다. [그림1]은 2차원 설계도면상에서의 부품표현 예를 보여주고 있다.

회전형상부품의 경우 지금까지의 형상인식에 관한 연구는 Syntactic Pattern Recognition을 이용한 연구[2,3,4,5]가 가장 대표적인 방법인데, 이방법은 string matching 기법을 근간으로 하고 있어 컴퓨터처리가 매우 간편한 장점을 가지고 있으나 입력형상 및 인식력의 제한으로 인해 복잡한 형상을 가진 부품 인식에는 적용할 수 없는 단점을 가지고 있



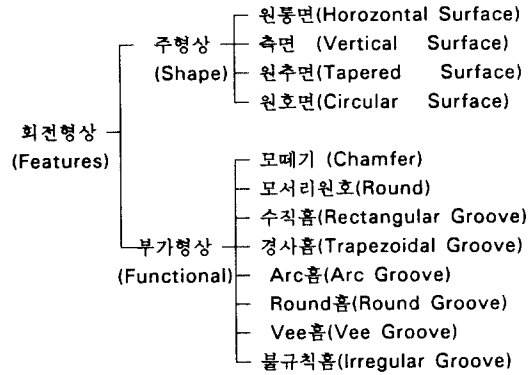
[그림1] 부품표현의 형식(2차원설계도면)

+ 본연구는 한국과학재단지정 능동자동화 연구센터와 한국 과학재단의 목적기초 연구지원에 의해 수행되었음.

이와같이 작성된 도면은 형상인식알고리즘을 적용하기에 편리한 형태로 컴퓨터 내부에서 변환하게 되는데 부품의 상부 윤곽선을 다음과 같이 3개의 독립된 그래프로 나누어 저장한다.

$$G = \{Gext, Gintl, Gintr\},$$

- G : 상부윤곽선 그래프(단순/방향그래프)
- Gext : 상부윤곽선에서 외부평면에 해당하는 entity들의 Subgraph
- Gintl : 내부평면에 위치하는 entity들중에서 왼쪽방향에서 접근이 가능한 entity들의 Subgraph
만일 부품의 내부가 관통된 경우는 모든 내부 entity들의 Graph
- Gintr : 내부평면의 entity중에서 오른쪽에서 접근이 가능한 entity들의 Subgraph. 관통된 부품의 경우는 Null Graph이다.



[그림2] 인식이 가능한 회전형상의 분류

여기서 그래프의 노드는 entity를, 아크는 adjacent entity와의 연결관계(entity의 시작점과 연결되는 IN_ARC와 끝점과 연결되는 OUT_ARC로 구분)를 각각 나타낸다. 세계의 독립된 그래프로 분할하는 이유는 각 subgraph가 가공에 가지는 의미(공구의 주요접근벡터)외에도 제시된 형상인식 알고리즘이 recursive evaluation을 필요로 하기 때문에 불필요한 evaluation을 줄일 수 있다는 점 때문이다.

3. 형상인식 방법론

3-1 관련용어의 정의

본 형상인식방법론을 설명하는데 있어 먼저 필요한 용어를 다음과 같이 정의하기로 한다.

정의1(Concave Surface Set) : 2개 이상의 entity들로 이루어진 집합에서 연속되는 entity들간의 concave 관계를 가지는 경우 이집합을 Concave Surface Set(CSS)이라 한다.

정의2(MONOTONOCITY) : 하나의 entity나 entity들의 집합이 X 또는 Y 방향으로 일정하게 단순감소하거나 단순증가하면 entity 또는 entity들의 집합으로 이루어진 형상이 'MONOTONOUS'하다고 한다.
만일 X 방향으로만 Monotonous하면 'X-MONO',
Y 방향으로만 Monotonous하면 'Y-MONO',
동시에 X, Y 방향으로 Monotonous하면 'T-MONO',
어느 방향으로도 Monotonous하지 않으면 'N-MONO'라고 정의한다.

정의3(ADJACENCY) : 하나의 CSS를 이루는 entity가 다른 CSS의 entity와 adjacent인 경우 이들 CSS는 서로 'ADJACENT'하다고 정의한다.

정의4(형상의 분류) : 본 연구에서 인식이 가능한 형상의 종류는 아래와 같다(그림[2]).

위의 정의에서 CSS는 모든 형상이 CSS의 부분집합으로 탐색의 수를 엄격하게 제한할 수 있다는 점에서, 형상의 MONOTONOCITY는 윤곽선의 진행방향과 3개의 서브그래프의 정보에 의해 형상에 대한 공구의 접근방향, 형상인식순서의 선후관계등을 유일(unique)하게 결정할 수 있다는 점에서, 그리고 ADJACENCY는 2개의 CSS간 인식순서의 우선순위가 존재할 경우 이를 인식할 수 있다는 점때문에 각각 알고리즘에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한 [정의4]의 인식이 가능한 형상의 경우는 각각 형상의 위치에 따라서 내부형상과 외부형상으로, 그리고 홈의 MONOTONOCITY에 의해 공구가 측면에 수직방향으로 가공할 수 있는 홈(링)과 원통면과 수직방향으로 가공이 가능한 홈으로 분류된다.

3-2 부품설계데이터(IGES)의 변환

[그림1]의 설계도면이 컴퓨터로 작성되고 나면 형상인식 시스템에서의 첫번째 단계는 IGES 데이터로부터 2장에서 정의된 것과 같이 세계의 서브그래프를 생성하는 일이다. 이 과정은 다음과 같다.

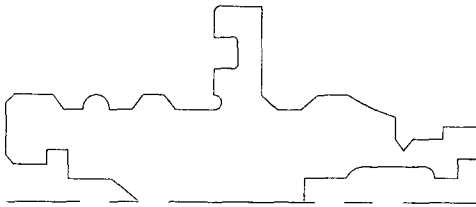
단계1: Geometric entity의 추출 - IGES 화일의 global section과 entity section에서 중심선과 도면의 기하학적 entity들을 추출하는 단계. 이는 IGES 형식이 필요한 정보를 수시로 얻는데 매우 불편한 구조를 가지고 있기 때문에 먼저 우리가 필요한 entity에 관한 데이터만을 추출하게 된다.

단계2: 도면 상부 entity들의 추출 - 중심선의 Y 좌표를 중심으로 모든 entity에서 중심선 위에 위치한 부분만을 얻는 단계.

단계3: Entity monotonicity의 생성 - 모든 entity에 대해서 'T-MONO'가 아닌 entity를 몇개의 monotonous entity로 분할하는 단계. 이는 원호 entity들중에서 수직선이나 수평선의 접선에 의해 분할될 수 있는 entity를 분할함에 의해서 이루어진다. 이 과정은 entity의 형태에 관계없이 단지 entity의 시작점과 끝점만을 고려하여 CCS의 생성을 가능하게 한다.

단계4: Redundant Entity(RE)의 제거 - 편의상 부품 설계도면에는 존재하나 실제 부품에서는 존재하지 않는 entity의 부분(Redundant Entity)을 제거하여 상부 윤곽선을 만드는 단계. 앞에서 언급한 바와 같이 Chen[9]은 각 entity를 노드로 하고 entity들간의 연결을 아크로 하는 그래프를 생성하여 RE를 제거하는 알고리즘을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 'Plane Sweep' 기법[8]을 이용하여 보다 효과적으로 이를 해결하였다.

단계5: 입력그래프의 생성 - 단계 4에서 출력된 upper half profile list에 있는 entity들로부터 Gext, Gint1, Gintr을 생성하는 단계. 이때 아크는 다음노드와의 연결관계를 나타내는데 attribute가 -1이면 convex 1이면 concave, 그리고 0이면 straight 관계를 의미한다. [그림3]은 이상에서 제시한 절차를 사용하여 [그림1]의 설계도면으로부터 구한 상부윤곽선을 보여주고 있다.

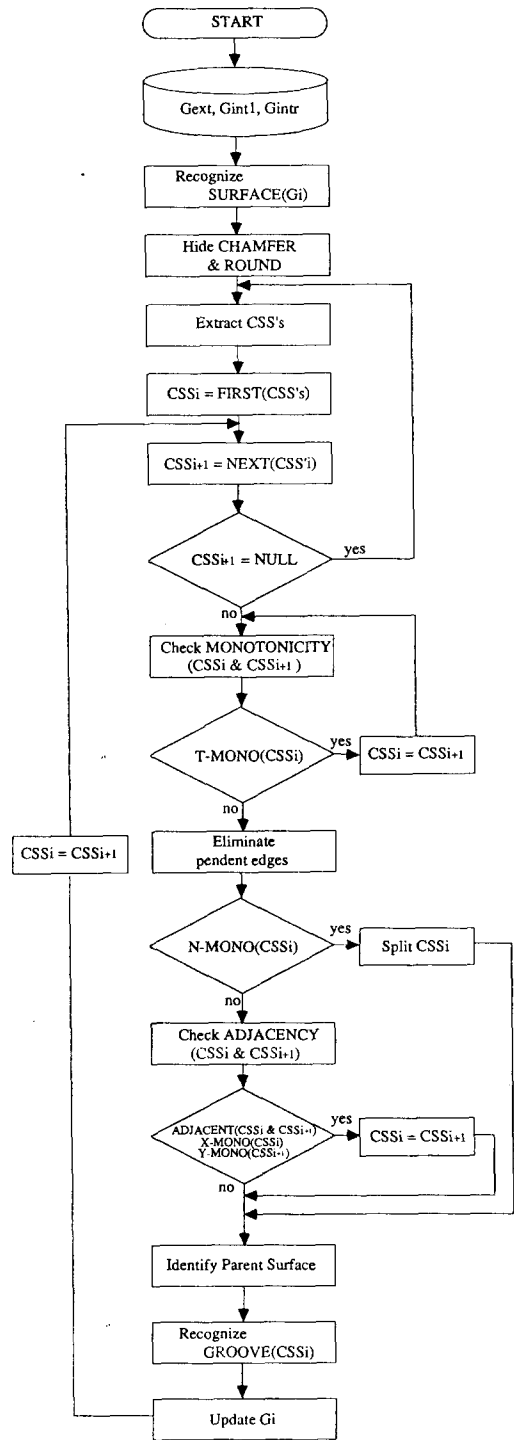


[그림3] 부품의 상부윤곽선

3-3 형상인식 알고리즘

형상인식알고리즘은 기본적으로 1) 모든 CSS의 추출, 2) X-MONO 또는 Y-MONO로의 분할, 3) 각 CSS의 평가, 4) 그래프의 갱신의 과정을 순환적으로 반복하는 구조를 가지고 있다. 이와같은 알고리즘의 특징으로는 1) CSS가 인식하고자 하는 형상의 super set이므로 CSS 이외의 경우는 고려할 필요가 없어 탐색의 효율을 기할 수 있으며, 2) 아무리 복잡한 형상이라도 계층적 순서로 인식이 가능하며, 3) 특히 인식의 순서에 우선순위를 가진 형상까지도 일관성있는 알고리즘을 사용하여 인식이 가능하다는 점을 들 수 있다. 형상인식알고리즘의 상세한 절차도가 [그림4]에 나타나 있다. [그림4]의 절차도에 따라 알고리즘을 각 단계별로 설명하면 다음과 같다.

단계1: Surface 형상인식 - 주형상과 부가형상중에서 하나의 노드에 관한 정보로부터 인식이 가능한 surface를 인식하는 단계로서 각 형상에 관한 규칙(rule)을 이용한다. 모떼기와 모서리원호는 IN_ARC와 OUT_ARC의 attribute가 1이어야 하며 원추면과 모떼기, 그리고 원호면과 모서리원호는 가공면의 크기로서 구분한다.



[그림4] 형상인식알고리즘의 절차도

단계2: MS(Minimal Shape)의 제거 - 모떼기나 모서리번호와 같은 MS에 의한 부품모양의 변동을 미리 제거하는 단계. 이는 CSS의 이전노드와 이후노드가 MS인 경우 이를 사전에 제거하지 않으면 다음 순환 과정에서 CSS의 시작면과 끝면이 MS로 이루어진 형상을 인식하는 잘못된 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

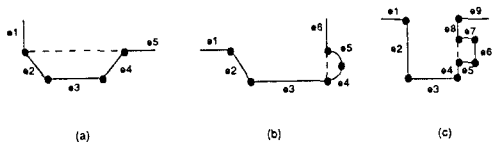
단계3: CSS의 추출 - 이 단계에서는 Gi에서 노드의 수가 2 이상인 모든 CSS를 추출한다. CSS는 전과정의 그래프 생성이 이미 계산한 바 있는 link의 attribute 정보를 이용하여 간단히 추출된다.

단계4: CSS MONOTONOCITY의 확인 - 각 CSS의 MONOTONOCITY를 확인하는 단계로서 [정의2]에서 이미 정의한 바와 같이 X-MONO, Y-MONO, T-MONO, N-MONO의 4가지 경우가 존재한다. 이를 확인하는 문제는 설계데이터의 변환과정에서 모든 entity를 monotonous하게 분할한 바 있기 때문에 단지 entity의 시작점과 끝점에 관한 정보만으로도 쉽게 확인할 수 있다.

단계5: Pendent Edge의 제거 - CSS를 구할때 단지 entity들 간의 concave 관계에 의해 CSS를 구하기 때문에 실제 형상의 부분이 아닌 entity가 [그림5]의 a)에서와 같이 CSS에 포함되는 경우가 있다. 이 edge는 형상 인식규칙을 적용하기에 앞서 사전에 제거한다.

단계6: N-MONO CSS에서 Y-MONO의 분할 - [그림5]의 b)에서 보면 하나의 CSS내에 {e4, e5}와 {e2, e3, e6}와 같이 2개의 CSS가 존재하며 이들간에는 {e4, e5}가 {e2, e3, e6}에 앞서 인식되어야 하는 인식순서(recognition sequence)가 존재함을 알 수 있다. 이를 위해 N-MONO인 형상에서 먼저 X방향의 edge를 찾은 다음 단계5의 edge 제거 알고리즘을 적용한다.

단계7: 연속되는 CSS들간 인식순서의 고려 - 단계6이 하나의 CSS에 형상의 인식순서가 존재하는 경우라면 이 단계에서는 [그림5]의 c)에서 볼 수 있는 바와 같이 2개의 CSS간 형상인식순서가 존재하는 경우 Y-MONO인 CSS를 먼저 인식하도록 2개의 CSS를 swap한다.



[그림5] Pendent Edge와 인식순서가 있는 형상의 예

단계8: Parent Surface의 확인 - CSS의 가공면인 parent surface를 찾는 단계로서 parent surface는 다음 evaluation시 parent feature 및 primary approach를 찾는 key의 역할을 담당한다.

단계9: CSS의 형상인식 - CSS의 형상 형태를 규칙에 의해 확인하는 단계. 만일 가공시 생기는 중간면(side surface)이 존재할 경우는 이를 CSS에서 미리 제거한 다음 형상인식규칙

을 적용한다.

단계10: 그래프의 update - parent surface가 확인되고 형상 인식이 완료되면 다음 evaluation을 위해 update된 surface를 제외한 CSS를 삭제하고 해당 link 정보를 update한다.

4. 실험 결과

이상에서 제시한 형상인식 알고리즘의 성능과 효율성 검증해 보기 위해 프로토타입 시스템을 구축하였는데 CAD 시스템으로는 AUTOCAD/R11을 사용하고 386 PC상에서 C 언어를 사용하여 구현하였다. 부품설계도면은 [그림1]에 제시된 사례를 이용하였다. 이 사례는 각종 회전형상부품을 조사하여 나타낼 수 있는 복잡한 형상들을 한데 모아놓은 가상의 예제이다. [표1]과 [표2]는 인식된 형상결과를 보여주고 있다.

[표1] Surface의 인식결과

EntNo	Feature	Location*	Start. Pt	Termi. Pt	Center Pt
1	#VertiFace	E	(68 , 83)	(68 , 90)	(0 , 0)
2	#VertiFace	E	(68 , 98)	(68 , 105)	(0 , 0)
3	#VertiFace	E	(74 , 92)	(74 , 97)	(0 , 0)
4	#VertiFace	E	(80 , 83)	(80 , 107)	(0 , 0)
5	#VertiFace	E	(114 , 72)	(114 , 78)	(0 , 0)
6	#VertiFace	E	(126 , 72)	(126 , 75)	(0 , 0)
7	#RightEnd	E	(135 , 67)	(135 , 75)	(0 , 0)
8	#LeftEnd	E	(15 , 48)	(15 , 81)	(0 , 0)
9	#VertiFace	IR	(91 , 55)	(91 , 61)	(0 , 0)
10	#VertiFace	IL	(25 , 65)	(25 , 69)	(0 , 0)
11	#VertiFace	IL	(30 , 61)	(30 , 69)	(0 , 0)
12	#VertiFace	IR	(130 , 61)	(130 , 67)	(0 , 0)
13	#Chamfer	E	(15 , 81)	(17 , 83)	(0 , 0)
14	#HorizSurf	E	(17 , 83)	(27 , 83)	(0 , 0)
15	#Taper	E	(27 , 83)	(30 , 79)	(0 , 0)

(중 략)

36	#CircSurf	E	(126 , 75)	(135 , 75)	(130 , 127)
37	#Taper	E	(114 , 72)	(116 , 69)	(0 , 0)
38	#Taper	E	(116 , 69)	(119 , 72)	(0 , 0)
39	#HorizSurf	IL	(17 , 65)	(25 , 65)	(0 , 0)
40	#HorizSurf	IL	(25 , 69)	(30 , 69)	(0 , 0)
41	#HorizSurf	IL	(30 , 61)	(42 , 61)	(0 , 0)
42	#Taper	IL	(42 , 61)	(48 , 55)	(0 , 0)
43	#Chamfer	IL	(15 , 68)	(17 , 65)	(0 , 0)
44	#HorizSurf	IR	(130 , 67)	(135 , 67)	(0 , 0)
45	#HorizSurf	IR	(124 , 61)	(130 , 61)	(0 , 0)
46	#HorizSurf	IR	(108 , 64)	(120 , 64)	(0 , 0)
47	#HorizSurf	IR	(91 , 61)	(101 , 61)	(0 , 0)
48	#CircSurf	IR	(131 , 61)	(138 , 64)	(107 , 59)
49	#CircSurf	IR	(120 , 64)	(124 , 61)	(121 , 62)
50	#CircSurf	E	(84 , 79)	(90 , 79)	(0 , 0)
51	#Taper	E	(30 , 83)	(34 , 79)	(0 , 0)

* E - External, IL - Internal/Left, IR - Internal/Right

[표2] 홈의 형상인식결과

Fno	Loc	Type	PS	PF	PA	SA	CS
1	E	#IRREGUL	14	-	Z	-	15, 16, 28
2	E	#IRREGUL	14	-	Z	-	27, 17, 18
3	E	#CIRCULAR	1	7	Z	L	29, 28
4	E	#ROUND	1	7	L	-	22, 24, 3, 25, 23
5	E	#TRAPZOID	33	-	Z	-	51, 50, 32
6	E	#VEE	35	8	Z	Z	37, 38
7	E	#TRAPZOID	19	-	Z	-	20, 21, 1
8	E	#RECTAGL	34	-	Z	-	5, 35, 6
9	IL	#RECTAGL	39	-	L	Z	10, 40, 11
10	IR	#ROUND	41	-	R	Z	48, 46, 49

* Fno : Feature ID
Loc : Feature Location
Type : Feature Type
PS : Parent Surface
PF : Parent Feature
PA : Primary Approach
SA : Secondary Approach
CS : Coloring Surface

[표2]의 형상인식과정을 살펴보면 1번부터 6번까지의 형상은 G_{ext} 의 첫번째 순환과정에서, 7번과 8번의 형상은 그래프 update후 2번째 순환과정에서 얻어졌다. 또한 9번과 10번 형상은 각각 G_{int1} 과 G_{int2} 의 첫번째 순환과정에서 원하는 결과를 얻을 수 있었다. 인식된 형상에 대해 설명하면 한 예로 6번 홈의 경우는 형상이 외부에 위치하고 홈의 형태는 Vee홈이며 parent surface는 35번 surface이다. 또 parent feature는 8번의 사각홈이고 primary approach와 secondary approach는 모두 원통면과 수직인 방향(Z)이다. 그리고 이를 이루는 surface의 집합은 {37, 38}임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 선삭공정의 대상이 되는 회전형상부품의 CAD 설계도면(IGES 형식)으로부터 CAPP 시스템에 필요한 가공형상을 인식하기 위한 방법론이 제시되었다. 결과를 살펴보면:

- 1) 먼저 사용자가 별도로 상부윤곽선을 준비하지 않고 2차원 설계도면을 입력으로 사용할 수 있도록 하는 효율적인 알고리즘을 개발하였고,
- 2) 기존연구들에 비해 형상인식능력을 크게 향상시켜 인식할 수 있는 형상을 증가시켰으며,
- 3) 다른 모듈을 추가하지 않아도 CAPP 시스템에 유용한 정보(예를 들면 공구접근방향)를 알고리즘의 실행과정에서 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] Chang, T.C., Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley Publishing Company, 1990
- [2] Jakubowski, R., "Syntactic Characterization of Machined Part Shape," Cybernetics, 13, 1-24, 1982
- [3] Staley, S.M., et.al., "Using Syntactic Pattern Recognition to Extract Feature Information from Solid Geometric Model Database," Computers in Mechanical Engineering, 2, 61-66, 1983
- [4] Srinivasan, R., et.al., "Extraction of Manufacturing Details from Geometric Models," Computers and Industrial Engineering, 9, 125-133, 1985
- [5] Li, R.K., "A Part-feature Recognition System for Rotational Parts," Int. J. Prod. Res., Vol.26, No.9, 1451-1475, 1988
- [6] Wang, H.P., "AIMSI: a Prelude to a New Generation of Integrated CAD/CAM Systems," Int. J. Prod. Res., Vol.26, No.1, 119-131, 1988

[7] Chen, S.H., "A DGR Method for Extracting the Topology of an Upper-half Profile of a turned part from CAD data," Int. J. CIM, Vol.4, No.1, 45-56, 1991

[8] Preparata, F.P., Shamos, M.I., Computational Geometry, Springer-Verlag, 1985

[9] 조규갑, 김인호, "선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동 공정계획시스템개발에 관한 연구(1):형상특징의 자동인식과 공정선정," 대한산업공학회지 제17권, 제2호, 1-16, 1991