

역공학에서 측정경로생성을 위한 특징형상 인식

김승현*, 김재현*, 박정환**, 고태조#

Feature Recognition for Digitizing Path Generation in Reverse Engineering

Seung Hyun Kim*, Jae Hyun Kim*, Jung Whan Park**, Tae Jo Ko#

ABSTRACT

In reverse engineering, data acquisition methodology can generally be categorized into contacting and non-contacting types. Recently, researches on hybrid or sensor fusion of the two types have been increasing. In addition, efficient construction of a geometric model from the measurement data is required, where considerable amount of user interaction to classify and localize regions of interest is inevitable. Our research focuses on the classification of each bounded region into a pre-defined feature shape for a hybrid measuring scheme, where the overall procedures are described as follows. Firstly, the physical model is digitized by a non-contacting laser scanner which rapidly provides cloud-of-points data. Secondly, the overall digitized data are approximated to a z-map model. Each bounding curve of a region of interest (featured area) can be traced out based on our previous research. Then each confined area is systematically classified into one of the pre-defined feature types such as floor, wall, strip or volume, followed by a more accurate measuring step via a contacting probe. Assigned to each feature is a specific digitizing path topology which may reflect its own geometric character. The research can play an important role in minimizing user interaction at the stage of digitizing path planning.

Key Words : Feature(특징형상), Recognition(인식), Freeform surface(자유곡면), Reverse engineering(역공학)

기호설명

α = draft angle of a 'wall' feature or inclination angle of a 'floor' feature
 ρ = radius of a 'fillet', 'round', etc
 δ = depth or height of a 'wall', 'floor', etc
 κ = curvature of a 'wall', 'floor'

1. 서론

수학적 모델로부터 실물 모형을 생산하는 과정을 공학이라 할 때, 실물 모형에서 기하학적인 형상정보를 추출하여 실물을 재생산하는 과정을 역공학이라 한다.¹ 최근에는 소비자의 수요가 다양화되고 빨리 변하고 있고, 복잡한 자유 곡면 형상을 갖는 제품을 제조하기 위해 역공학에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.² 이를 위해서는 신속하고

· 접수일: 2004년 3월 5일; 게재승인일: 2004년 10월 7일

* 영남대학교 기계공학과 대학원

** 영남대학교 기계공학과

교신저자: 영남대학교 기계공학과

E-mail: tjko@yu.ac.kr Tel. (053) 810-2576

정확하게 실물모형에 대한 점 데이터 획득이 이루어져야 한다. 현재 점 데이터를 획득하는 방법으로는 적용 센서의 종류에 따라, 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다.

측정정도, 측정시간 및 작업자의 개입정도에 따라 접촉식과 비접촉식은 서로 다른 기계적 성질을 가지고 있으며,^{3,4} 신속한 측정, 측정의 자동화 및 정밀한 측정을 위한 센서 융합 방식에 대한 연구도 이루어지고 있다.⁵ 또한, 상세 측정을 위하여 특징형상을 인식하고자 많은 연구가 이루어지고 있다.

구멍, 슬롯 등과 같은 특징형상⁶ 및 필렛, 라운드와 같은 특징형상^{7,9}에 관한 연구가 상당수 이루어졌으며, 현재는 자유곡면과 같은 특징형상의 인식 및 추출에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다.¹⁰⁻¹¹

본 연구는 저자들의 두 가지 선행 연구 - 비접촉식 측정장비를 이용하여 실제모델로부터 점 데이터를 획득하고 근사곡면모델을 생성한 후, 필렛과 라운드 특징형상을 추출하는 연구⁹, 정밀 측정을 위해 스캐닝 프로브를 이용하여 자유곡면의 점군데이터를 획득하는 연구⁵ - 의 중간단계로서, 추출된 영역경계곡선 내부의 특징형상에 따른 접촉식 정밀 측정 경로 생성을 위해 각 영역을 “언더컷이 없는 단일 특징형상”으로 인식하는 것이 연구 목적이다. 본 연구에서는 여러 단일 특징형상이 이루어져 구성하는 복합특징형상은 다루지 아니한다.

Fig. 1은 비접촉식 및 접촉식 측정장비를 활용하는 센서융합방식²의 역공학 과정 및 그 과정 내에서의 본 논문의 연구범위를 나타내고 있다. 저자들이 제안한 센서융합방식에서는 먼저 비접촉식 측정장비를 이용하여 대량의 점군데이터를 획득하여 이로부터 근사곡면모델링 및 영역화 작업을 수행한다⁹(Stage 1). 이 단계를 거치면서 구축한 근사곡면 모델(rough z-map model)과 영역경계곡선(area boundary curve)은 본 연구의 입력 데이터로 사용되고, 각 영역의 특징형상을 본 연구에서 제시한 파라미터를 이용하여 구분한 후(Stage 2), 특징형상에 적합한 접촉식 측정경로를 생성하고 측정을 수행한다(Stage 3)⁵.

2절에서는 본 연구의 입력데이터로 사용되는 근사곡면 모델 및 개별 영역분할 작업을 살펴보고, 3절에서는 본 연구에서 다루는 단일특징형상의 정의 및 인식에 관한 내용을, 4절에서는 적용사례를 살펴보고자 한다.

2. 근사곡면 모델과 영역분할

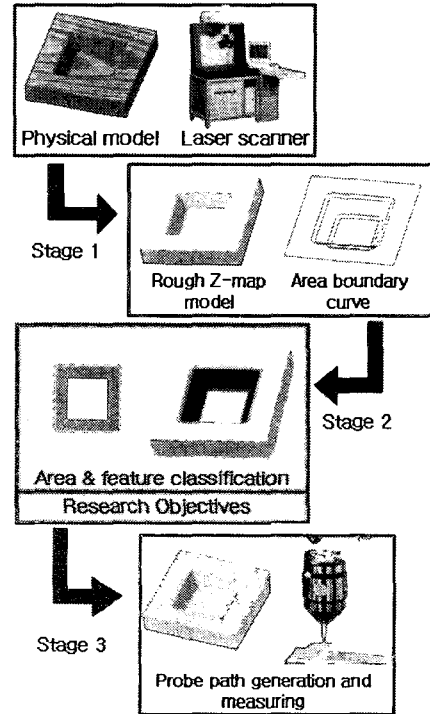


Fig.1 Overall procedures and scope of the paper

본 절에서는 본 연구의 입력으로 들어오는 근사곡면모델과 영역경계곡선, 그리고 복수 영역경계곡선에 대한 영역분할을 살펴보고자 한다.

■ 근사곡면 모델

우선 비접촉식 측정장비에서 얻어낸 대량의 점군 데이터로부터 근사곡면모델을 구축함에 있어서, 매개변수형 곡면 모델¹²을 바로 얻어내는 것이 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 비매개변수형 곡면의 한 형태인 Z-map¹³을 사용하였다.

Z-map은 XY 평면에 정의된 격자점에서의 높이 값을 2차원 배열 $z[i,j]$ 형식으로 저장하는 자료구조를 가지며, Fig. 2에 개념적인 구조를 보이고 있다. Z-map은 자료구조가 간단하고, 음셋팅이나 블렌딩 등의 곡면 조작이 매우 편리하고, 이러한 장점은 영역 분할 등의 계산 작업을 단순화시킨다.

■ 영역경계곡선 및 영역분할

본 연구에서 다루는 영역경계곡선은 점열(point sequence)로 이루어진 폐곡선이며, Fig. 3은 영역경계곡선과 근사 z-map 모델 예를 보이고 있다⁹. 앞서 언급하였듯이 영역경계곡선과 근사곡면은 입력으로 주어지며 선행연구⁹의 결과이다.

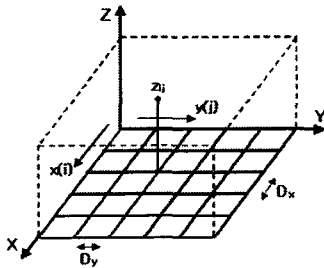
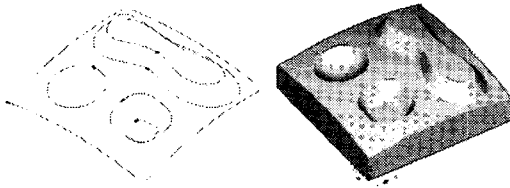


Fig. 2 Z-map model



(a) Area boundary curve (b) Rough z-map

Fig. 3 Rough z-map and area boundary curves

다음으로, 복수개의 영역경계곡선에 의해 영역을 분할하는 과정을 살펴보자. 특징형상 판별은 분할된 각 영역에 대해 이루어진다.

우선 각 영역의 개략적인 외곽 경계를 구분하기 위하여 각 영역 경계 곡선에 대한 2차원 직사각형 (Measuring box 혹은 Mbox)을 구성한다. Fig. 4는 Mbox의 예를 보이고 있으며, 그림에서 B.C.는 경계곡선(boundary curve)을 의미한다. 입력된 영역경계곡선간의 포함관계를 조사하여 각 영역분할을 하고자 할 때, Mbox의 사용은 계산과 속도 측면에서 유리하다고 볼 수 있다.

앞서 언급하였듯이 본 연구에서는 Z-map 모델을 사용하고 있으며, 영역분할의 결과도 Z-map 구조를 가지는 2차원 맵에 저장하고 있다. 본 연구에서는 이러한 맵을 M-map으로 칭하고 그 예를 Fig. 5에 보이고 있다.

영역분할은 결국 M-map의 개별 격자점이 경계

곡선 내외부에 속하는지를 판단하는 과정으로 이루어지며, 스캔라인 알고리즘을 활용하는 것이 일반

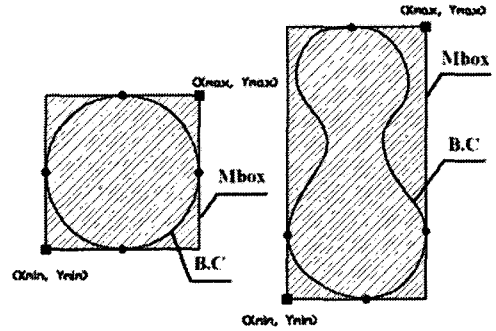
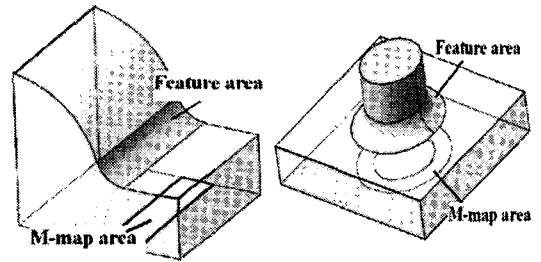


Fig. 4 2D measuring box



(a) (b)

Fig. 5 Schematics of M-map

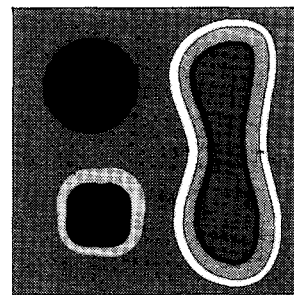


Fig. 6 Area identification

적이다. 즉 해당 격자점을 시작점으로 만든 수평 또는 수직선분과 영역 폐곡선과의 교점 수를 따져 격자점의 내외부 포함 여부를 판단하는데, 교점이 없거나 짝수개이면 영역 외부가 되고 홀수개이면 영역 내부가 된다고 판단한다. Fig. 6은 각각의 영역경계곡선에 따라 영역이 분할된 예를 나타낸다.

3. 특징형상의 분류와 인식

3.1 특징형상의 분류

근사곡면모델 및 영역경계곡선에 대해 영역분할이 완료되면 개별 영역에 대한 접촉식 정밀측정이 이루어진다. 이를 위해서는 각 영역의 형상을 잘 반영할 수 있는 측정경로형태를 정하고 측정이 이루어져야 한다. 접촉식 정밀측정에 관한 연구는 별도 참고문헌을 참조하면 된다.⁵

Table 1에 보이듯이, 본 연구에서는 분할된 개별 영역을 4가지 특징형상 중 하나로 구분하였으며 (Fig. 7 참조), 가공경로와 유사하게 해당 측정경로 형태를 적용하도록 하였다.

Table 1 Features and probe path topology¹⁵

Type	Feature	Topology
floor	slant floor horizontal floor compound floor	serial-pattern
wall	negative wall vertical wall draft wall	radial-pattern
volume	rotation volume none-rotation volume	contour-pattern
strip	fillet round	strip-pattern

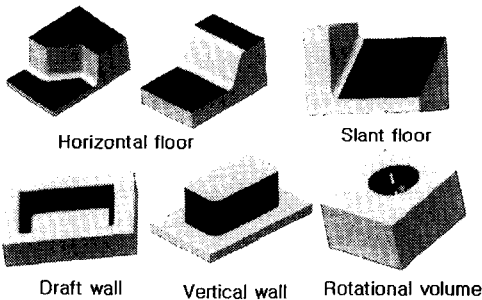


Fig. 7 Example feature types

3.2 특징형상의 인식

본 절에서는 자유곡면의 기하학적 형상을 분석하여 특징형상으로 인식하는 방법을 설명하고자 한다. 우선 Table 2는 특징형상 인식에 사용되는 몇 가지 파라미터를 보이고 있다.

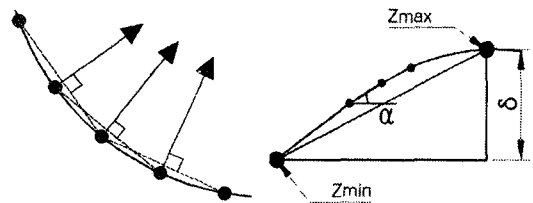
기울기각 α 와 이를 이용하여 구한 측정점의 높이 (혹은 깊이) δ 를 이용하여 특징형상을 구분할

수 있으며 Fig. 8 (b)에 나타내었다. Strip type 형상에서의 기울기각 α 는 Fig. 8 (a)와 같이 근사 법선

Table 2 Feature classification parameters¹⁵

Parameter	Explanation	Equation
α	draft-angle of a wall feature or inclination-angle of a floor	$\alpha = \Delta Z / ((dx^2 + dy^2)^{1/2})$
ρ	radius of a fillet, round, etc.	$\rho = \text{radius}$
δ	depth or height of a wall, floor, etc.	$\delta = Z_{\max} - Z_{\min}$
κ	curvature of a wall, floor	$\kappa = 1/\rho$

방향으로 탐색하여 구하여지며, 두 측정점을 연결하였을 때 높이값의 차이에 의하여 구하여지는 δ 는 영역에서 최고점과 최저점의 차이이다. 주로 사용되는 인자는 기울기각 α 이며, δ 는 높이값의 최대(Z_{\max}), 최소(Z_{\min}) 기준을 제시하여 준다. 이 외에도 곡률 κ 와 반경 ρ 를 사용하였다.



(a) Searching direction (b) Definition of α , δ

Fig. 8 Searching direction & definition of α , δ

반경의 경우, 측정점(P_i)과 인접하는 두 측정점 (P_{i-1}, P_{i+1})을 원의 방정식에 대입하여 중심점과 반경을 계산하였다. 곡률은 반경의 역수이다.

3.2.1 Floor & Wall type

먼저 floor type을 살펴보면, 모델링 관점에서 xy-영역 상의 부드러운 완만한 곡면으로 표시되는 한 영역이라 할 수 있다. 이를 세분화하면 horizontal, slant, compound floor로 구분되며, 본 연구에서는 기울기각 α 와 높이(혹은 깊이) δ 를 이용하여 구분한다. Horizontal floor는 수평면에 가까운 정도로 작은 기울기각을 가지는 면이다. 기울기각 α 는 $0 \sim 10^\circ$ 이내로 정의하였다. Slant floor는 horizontal floor의 α 를 넘어서는 중간 기울기각을 가지는 면이다. 기울기각은 $10^\circ \sim 60^\circ$ 이내로 정의되

어진다. 최대 60°로 정의한 이유는 일반적으로 serial pattern으로 측정이 가능한 최대치이다.¹⁵ Compound floor는 한 floor 내부에 convex, concave 영역이 동시에 존재하는 복합곡면이다. 다수의 convex 영역 혹은 concave 영역이 존재하는 복합면의 인식에 관해서는 본 연구에는 고려하지 않기로 한다.

다음으로 wall type의 경우, 양 끝단의 모서리를 연결하여 생성된 면과 같은 경우로 draft, vertical, negative wall type으로 구분할 수 있다. Draft wall type은 slant floor의 α 를 넘어서는 60~80°이내로 정의되는 큰 기울기각을 가지는 면이다. Vertical wall type은 draft wall type의 α 를 넘어서는 80~90°이내로 정의되어지는 가장 큰 기울기각을 가지는 면이다. Negative wall type은 vertical wall type의 기울기각을 넘어서는 기울기각을 가지는 면으로 3축에서는 가공/측정이 불가능한 언더컷형상이므로 본 연구에서는 고려하지 않기로 한다.

단일특징형상을 검색하기 위해서는 입력데이터로 근사 Z-map 모델과 영역경계곡선이 필요하며, 이를 이용하여 Fig. 6과 같이 영역을 세분화 및 분류화하여 Mark-map(M-map)에 저장한다. 이때 M-map에 저장되는 정보는 각 영역의 인덱스정보(상수)이다. 예를 들어, 5개의 영역이 탐색이 되면 M-map 상의 정보는 1-5까지의 인덱스정보가 저장되어 있고 인덱스 정보를 이용하여 각각의 영역을 검색할 수 있게 된다. 모든 탐색과정에서의 입력데이터는 근사 Z-map 모델, 영역경계곡선 및 M-map이며, 이후의 알고리즘은 다음과 같다.

• 탐색 알고리즘

1. M-map에 표시된 첫 번째 영역에 대한 검색을 위해 measuring box의 최소 x, y 좌표에서 x방향으로 탐색을 시작한다.
2. Z-map 상의 격자점과 인접하는 두 개의 격자점의 x,y,z 정보를 이용하여 inclination(α), depth(δ), radius(ρ) 값을 계산한 후 평균을 구한다.
3. 평균 반경값이 measuring box의 x방향 길이 값(Xmax -Xmin)의 2배이상 클 경우, floor 또는 wall type으로 간주하고 앞서 정의한 α 값에 따라 floor type, wall type으로 구분하고 δ 값에 따라 slant floor를 구분한다.
4. 2번 과정으로 돌아가 y방향으로의 탐색을 시작하고 3-4과정을 반복한다.

5. M-map의 전 영역에 대해 위의 과정을 반복한다.

3.2.2 Strip type

Strip type에서는 블랜딩 된 convex 형태의 모서리인 round와 concave 형태인 필렛 형상을 strip type이라고 정의하고, 본 연구에서는 일정 반경 형상만을 고려한다. 곡률이 있는 wall type과의 차이점을 분명히 하기 위해 strip type의 수준에 대한 정의가 필요하다. 즉, 위의 2번 과정의 평균 반경값이 measuring box의 x또는 y방향 길이의 1/5이하일 경우는 strip type이라고 정의하고, 반경(ρ)는 세점을 이용한 원의 방정식을 통해 계산될 수 있다.

Strip type의 경우는 Fig. 6과 같이 일정한 간격을 가지는 띠 모양의 영역으로 표현된다고 할 수 있다. 따라서 탐색방향은 x, y 방향이 아닌 영역곡선의 법선벡터의 방향이어야 한다.

• 탐색 알고리즘

1. Floor, wall type 검색과정에서 strip type이라고 가정되는 M-map 부분에 해당하는 영역경계곡선 2개(inner, outer curve)를 찾는다.
2. Fig.8 (a)와 같이 outer curve의 시작점에서 인근하는 두개의 점을 이용하여 법선벡터를 계산한다.
3. 법선벡터와 inner curve와의 교점을 구하고 거리(d)를 계산한다. 시작점과 교점의 길이를 이등분하는 점(P_m)을 구하여 반경을 구한다(Fig. 9).
4. 2번 과정을 반복하여 다음 점에서의 반경(ρ)을 구한 후, 평균값을 구한다.
5. 영역경계곡선간의 거리(d)와 반경(ρ)이 오차범위 내로 같은 값을 가지면 strip type(constant radius strip type)으로 구분한다.

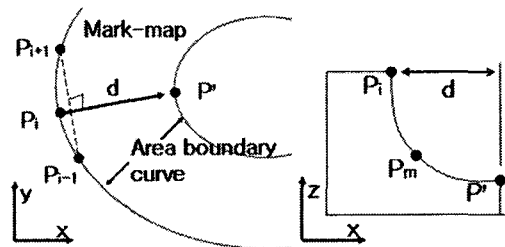


Fig. 9 Strip type search algorithm

3.2.3 Volume type

마지막으로 volume type은 형상에서 제거되어진 부분을 의미하며, 볼륨 타입의 내부에는 타 영역이 존재하지 않는다고 가정한다. 회전체 형상에 따라 rotational type과 non-rotational type으로 구분하지만 본 연구에서는 언더컷이 없는 rotational type만을 고려하기로 한다.

Rotational volume type형상의 경우 xy평면에 평행한 평면으로 절단하였을 경우, 근사 Z-map 모델과 평면의 교선은 원형곡선이 된다는 점을 이용하였다.

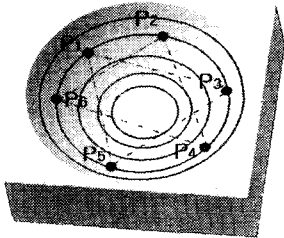


Fig. 10 Intersection circle on rotational volume type

· 탐색 알고리즘

1. M-map 상의 최대 높이값(Z_{max}) 및 최소 높이값(Z_{min})을 구하고, δ 값($Z_{max}-Z_{min}$)을 구한다.
2. 일정 높이간격(δ/n)만큼 절단한 후, 원형교선을 구한다.
3. 원형교선을 6등분하는 P_i 를 구하고 P_1, P_3, P_5 세 점을 이용하여 원의 방정식을 구하여 반경(ρ_1)를 구하고, P_2, P_4, P_6 을 이용하여 ρ_2 를 구하여 비교하여 오차범위 내에 있는지 검사 한다(Fig. 10).
4. 2번 과정으로 돌아가 나머지 절단 부분에 대해 3번 과정을 반복한다.
5. 3번, 4번 과정에서 구한 원형교선의 중심의 좌표를 이용하여 직선을 구하면 중심축을 탐색할 수 있다. 이때 중심축이 xy평면에 수직인 경우(Z축과 일치하는 경우)를 Vertical Rotational volume type으로 정의 한다.

하나의 영역에 대해 위의 탐색 알고리즘을 이용하여 형상을 인식한 뒤, 전체영역에 대해 적용하여 전체모델에 대한 단일특징형상을 인식한다.

4 구현 및 적용사례

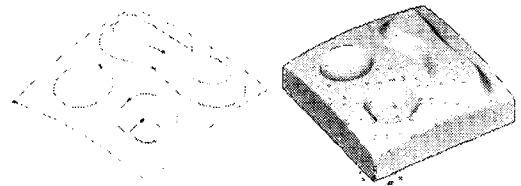
본 연구에서는 알고리즘의 검증을 위하여, 비접촉식 측정기로 측정하여 얻은 데이터를 이용하여 근사 모델을 만들었다. 그리고 상용 CAM System인 Z-Master2000을 기반으로 제안된 알고리즘을 적용하였다.

4.1 적용사례 1

본 논문에서 제시하고 있는 여러 특징형상을 포함하고 있는 CAD 모델을 생성시킨 후 특징형상을 추출하도록 하였다. 포켓 형상과 돌출되어진 형상은 드래프트 각을 60° 로 주었으며, 내부에 horizontal floor 타입으로 구성되도록 하였다. 또한 다른 영역에는 반구형상의 볼륨 타입을 생성시켰다.

1) 입력 데이터

Fig. 11 (a)의 영역 경계 곡선과 (b)의 근사 곡면 모델은 선행연구에 의하여 미리 구하여지며 본 적용사례에서의 입력데이터로 사용되어진다.



(a) Boundary curve (b) Rough z-map

Fig. 11 Preliminary data

2) 영역 구분

입력 데이터를 이용하여 2.2장에서 설명한 것과 같은 방법으로 measuring box와 M-map을 이용하여 각 영역을 구분한다. 이는 각 영역마다의 특징형상을 추출하기 위한 사전 작업으로, 각각의 영역은 영역 경계 곡선에 의하여 구분되어지며 중복되어지는 영역은 존재하지 않는다. 영역을 모두 구분하였을 경우 Fig. 12와 같다.

3) 특징형상 구분 및 측정경로 선정

영역이 모두 구분되었다면, 각 영역마다의 특징형상을 추출한다. 이 모델의 경우 Fig. 13의 Type 1, Type 2에서 드래프트 각은 60° 이며, Type 3은 x-y

평면에 수직인 축을 가진 반구형상임을 알 수 있었다. 위의 모델에 대한 특징형상 구분의 결과는 Table 3에 나타내었다.

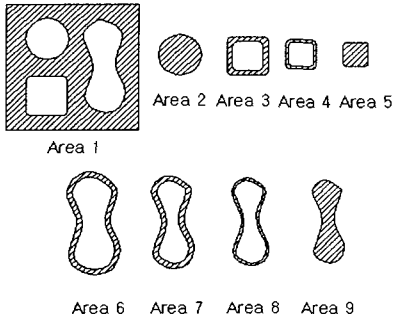


Fig. 12 Area classification result

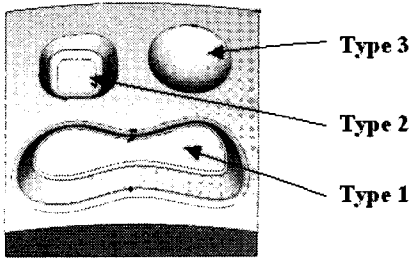


Fig. 13 Result of feature classification

Table 3 Features and probing path topology

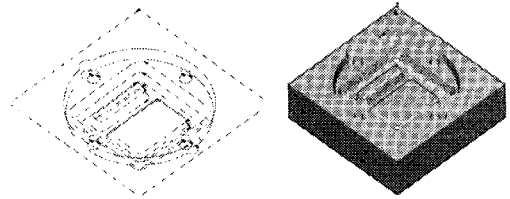
No.	Feature type	Topology
Type 1-2	draft wall fillet, round horizontal floor	radial-pattern strip-pattern serial-pattern
Type 3	rotation volume	contour-pattern

4.2 적용사례 2

실제 판매되고 있는 탁상용 시계의 백커버 부분을 적용 모델로 채택하였다. 이 모델은 본 논문에서 제시한 다양한 특징형상들을 포함하고 있으며, 본 논문에서 제시한 가정을 충족시키기 위하여 실제모델에서 약간의 수정을 가하였다.

1) 입력 데이터.

Fig. 14는 (a)의 영역 경계 곡선과 (b)의 근사 곡면 모델을 나타내고 있다.



(a) Boundary curve (b) Rough z-map
Fig. 14 Preliminary data

2) 영역 구분

Fig. 15와 같이 입력 데이터를 이용하여 각 영역을 구분하였다.

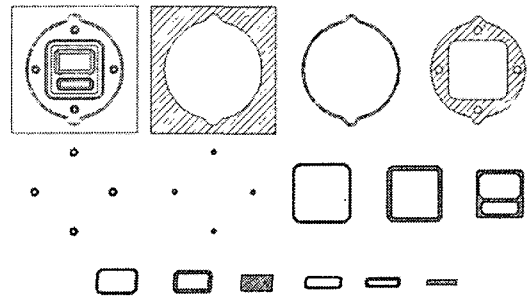


Fig. 15 Area classification result

3) 특징형상 구분 및 측정경로 선정

각 영역마다 특징형상을 추출한 후(Fig. 16) 측정경로를 Table 4에 나타내었다. 이 모델의 경우 wall type의 드래프트 각은 80~85° 이며, floor type의 경우 기울기는 0° 임을 알 수 있었다.

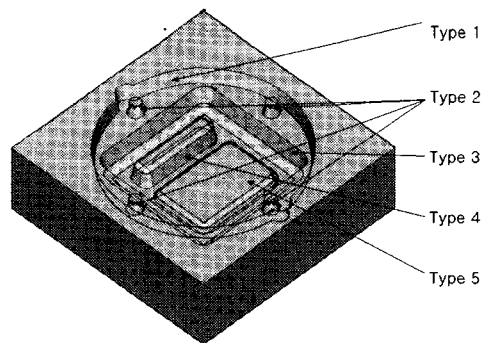


Fig. 16 Result of feature classification

Table 4 Features and Probing path topology

No.	Feature type	Topology
Type 1-2	vertical wall horizontal floor	radial-pattern serial-pattern
Type 3-5	vertical wall strip type (3:fillet, 4-5:round) horizontal floor	radial-pattern strip-pattern serial-pattern

5. 결론 및 토의

본 연구는 역공학을 위한 측정방식 중, 접촉식과 비접촉식 측정을 동시에 수행하는 센서융합 방식에서 정밀측정을 위한 접촉식측정 과정에서의 사용자 개입을 최소화 하고자 측정경로를 자동으로 생성할 수 있는 특징형상 탐색 알고리즘을 제안하였다. 적용사례를 통해 특징형상 인식의 결과가 측정하고자 하는 모델의 feature 모양을 잘 나타내고 있음을 보였다.

역공학의 경우, CAD모델이 없는 실물모델을 측정하는 경우가 많으므로 자동화된 측정경로 생성을 위해서는 측정경로에 따른 특징형상을 구분할 필요가 있다. 본 연구에서는 측정경로가 가공경로와 유사하다는 점을 이용하여 가공경로에 사용되는 topology를 적용하였고 floor, wall, strip, rotational volume 모양과 같은 단일특징형상으로 분류하였다.

선행연구로는 CAD모델이 없는 실물에 대해 측정 속도가 빠른 비접촉식 측정으로 다량의 측정 데이터를 획득한 후 이로부터 근사 곡면 모델을 구축하고 영역화 등의 작업으로 영역별 경계곡선을 얻는 연구를 수행하였으며^{9,14}, 본 연구의 입력으로 활용하였다.

본 연구와 관련한 추가 연구로는 단일특징형상 외에 일반적인 복합특징형상에 대한 탐색 알고리즘을 연구 할 필요가 있다. 또한 strip type의 경우 연접반경이 변하는 variable radius blend에 대한 탐색도 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R2000-2-30400-002-3)의 지원과 영남대학교 BK21 사업의 일부지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Peng, Q., Loftus, M., "A new approach to reverse engineering based on vision information," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, pp. 881-899, 1998.
2. Ko, T. J., Kim, H. S., Lee, H. J., "Efficient Digitizing in Reverse Engineering By Sensor Fusion," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 9, pp. 61-70, 2001.
3. Estler, W. T., Phillips, S. D., Borchardt, B., Hopp, T., Witzgail, C., Levenson, M., Eberhardt, K., McClain, M., Shen, Y., Zhang, X., "Error compensation for CMM touch trigger probes," Precision Engineering, Vol. 19, pp. 85-97, 1996.
4. Kim, S. H., Kim, I. H., "OMM(On the Machine Measuring) system development and valuation using scanning probe," J. of the KSPE, Vol. 13, No. 10, pp. 71-77, 1996.
5. Kwon, K. B., Kim J. H., Lee, J. G., Park, J. W., Ko, T. J., "Digitization of Unknown Sculptured Surface Using a Scanning Probe," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 4, pp. 57-63, 2004.
6. Kang, B. S., Lee, H. C., "Recognition Algorithm for Composite Features Considering Process Planning," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 3, pp. 3441-3458, 1996.
7. Lee, W. K., Lee, S. H., "Feature extraction of constant-radius edge rounds from three-dimensional measured data," J. of the Engineering & Technology, Vol. 21, pp. 431-440, 1998.
8. Zhu, H., Menq, C. H., "B-Rep model simplification by automatic fillet/round suppressing for efficient automatic feature recognition," Computer-Aided Design, Vol. 34, pp. 109-123, 2002.
9. Kim, J. H., Shin, Y. H., Park, J. W., Ko, T. J., Yoo, W. S., "Feature Recognition and Segmentation via Z-map in Reverse Engineering," J. of the KSPE, Vol. 20, No. 2, pp. 176-183, 2003.
10. Huh, S. M., Choi, J. W., Lee, S. H., "Study on Application of Reverse Engineering by Generation of the Free-Form Surface," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 10, pp. 168-177, 2001.

11. Zhang, X., Wang, J., Yamazaki, K., "A study on geometric feature recognition of free form surface product," Vol. 31, 2003.
12. Choi, B. K., "Surface modeling for CAD/CAM," Elsevier, 1991.
13. Park, J. W., Jung, Y. C., Choi, B. K., "Precision Shape Modeling by Z-Map Model," J. of the KSPE, Vol. 15, No. 11, pp.180-188, 1998.
14. Park, J. W., Kim, B. H., Choi, B. K., "Pencil Curve Tracing via Virtual Digitizing," J. of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 2, No. 4, pp. 253-266, 1997.
15. Choi, B. K., Jerard, R. B., "Sculptured surface machining," Kluwer Academic Publishers, pp. 58-64, 1999.