

2D 이미지의 윤곽선 인식을 통한 2.5D 급속 정밀부조시스템

신동수*, 정성종⁺

(논문접수일 2010. 12. 02, 수정일 2011. 04. 12, 심사완료일 2011. 04. 18)

2.5D Quick Turnaround Engraving System through Recognition of Boundary Curves in 2D Images

Dong-Soo Shin*, Sung-Chong Chung⁺

Abstract

Design is important in the IT, digital appliance, and auto industries. Aesthetic and art images are being applied for better quality of the products. Most image patterns are complex and much lead-time is required to implement them to the product design process. A precise reverse engineering method generating 2.5D engraving models from 2D artistic images is proposed through the image processing, NURBS interpolation and 2.5D reconstruction methods. To generate 2.5D TechArt models from the art images, boundary points of the images are extracted by using the adaptive median filter and the novel MBF (modified boundary follower) algorithm. Accurate NURBS interpolation of the points generates TechArt CAD models. Performance of the developed system has been confirmed through the quick turnaround 2.5D engraving simulation linked with the commercial CAD/CAM system.

Key Words : 2.5D Engraving(2.5D부조), Aesthetic Images(심미적영상), CAD/CAM(캐드/캠), Image Processing(영상처리), MBF, NURBS Interpolation (NURBS보간), TechArt(테크아트)

1. 서론

IT, Digital Appliance, 자동차 산업 등에서 소비자의 고품질 요구에 따라 디자인 혁신이 이루어지고 있다. 즉, 디자인 혁신을 통해 제품의 고급화와 부가가치 창출을 도모하고자 하는 TechArt 기술의 응용이 작금의 상황이다.

이러한 소비자의 디자인 욕구를 충족시키기 위하여 예술적이고 심미적인 다양한 이미지들이 사용되고 있으나, 이들 이미지는 2D로 프린팅된 것이 대부분이다. 본 논문에서는 복잡하고 심미적인 각종 2D 이미지로부터 입체감을 갖는 2.5D 부조

형상을 디자인에 응용할 수 있는 도구로 제공하기 위한 정밀 급속 부조법을 개발한다.

입체감을 갖는 이미지들을 CAD화하여 제품에 적용하는 과정은 이제까지 수작업으로 이루어져서 많은 시간과 노력이 요구되었다^(1,2). 이와 같은 노동 및 시간 집약적인 CAD 모델 생성 과정을 자동화하고, 임의의 예술적인 2D 이미지로부터 2.5D 심미적 CAD 모델을 빠르고 정확하게 생성하기 위해서는 점 데이터로부터 폐곡선 인식과 생성기능이 필요하다. 그리고 수정과 설계 변경을 통해 제품 개발에 적용하기 위해서는 폐곡선으로부터 CAD 모델 도출을 위한 NURBS보간 기능이 요구되

* 한양대 산업과학연구소

+ 교신저자, 한양대 기계공학부 (schung@hanyang.ac.kr)

주소: 서울시 성동구 행당동 17번지

며, 다양한 CAD system에 응용을 위해서는 중립 CAD파일 생성 기능을 갖는 역설계(reverse design) 시스템의 개발이 필요하다.

2D 이미지에서 2.5D CAD 복원(reconstruction) 방법에 관한 선행 연구에서 2005년 발표된 Shape from Shading⁽¹⁾ 기법은 한 장의 Gray scale 이미지로부터 2.5D 형상을 복원하는 방법이지만 복원된 모델의 신뢰성이 크게 떨어진다. Milan⁽²⁾ 등도 Gray 이미지로부터 2.5D 형상을 복원하는 방법을 제안하였지만 이 방법은 잡음 성분이 없는 단순한 이미지만을 적용하였고 실제 복잡한 이미지에 적용이 어렵다.

본 논문에서는 빠르고 정확하게 2D 이미지로부터 2.5D CAD 모델을 생성하는 역설계법을 창안하여 CAM 가공에 적용을 통해 정밀 급속 부조법을 개발한다. 2.5D CAD 모델을 복원하는 방법은 다음과 같다. 첫 번째 단계는 이미지상의 잡음을 제거하기 위해 이미지를 binary scale로 변환한 후 적응 중간값 필터(adaptive median filter)를 적용한다⁽³⁾. 다음으로 솔리드 모델을 만들기 위한 이미지의 윤곽선 정보를 얻기 위하여 MSBF(modified simple boundary follower) 알고리즘^(4,5)을 확장한 MBF(modified boundary follower) 알고리즘을 창안 적용한다. MBF 알고리즘은 꼬인 윤곽선을 풀어주어 2.5D 솔리드 CAD 모델의 생성을 가능하게 한다. 세 번째 단계는 얻어진 윤곽선 정보를 NURBS 보간하여 2.5D CAD 모델을 생성한다. 마지막으로 생성된 CAD 모델을 IGES 파일로 변환하여 상용 CAD/CAM 프로그램 상에서 가시화 및 가공 시뮬레이션을 수행하여 본 논문에서 제안한 2.5D 복원방법을 검증한다.

2. 이미지 프로세싱

2.1 적응 중간값 필터

2.5D 복원을 위한 이미지 Fig. 1 (a)와 같은 작은 점이나 선 등의 잡음이 존재한다. 이 잡음들은 복원된 CAD 모델을 왜곡한다. 이런 잡음을 제거하기 위해 본 논문에서는 이미지를 gray scale로 변환한 후 Table 1의 3번째 항과 같은 변수를 이용한 (1)과 (2)로 이루어진 적응 중간값 필터⁽³⁾ 알고리즘을 적용한다. 이 필터는 기존의 중간값 필터로는 제거할 수 없는 Non-impulse 잡음과 Salt and paper 잡음을 제거하고 이미지 본래의 형상을 보호하면서 잡음 성분을 제거하기 때문에 필터링된 이미지의 왜곡을 방지한다.

2.2 적응 중간값 필터의 결과

앞절에서 얻어진 gray 영상 정보에 문턱값을 적용하여 이진 영상(binary image) 정보로 변환한다. Fig. 1(a) 상부에는 흰색 줄 모양의 복원할 필요 없는 잡음이 존재하는데, 2.1절의

Table 1 Algorithm of adaptive median filter

<p>(1) Level A: $A1 = z_{med} - z_{min}$, $A2 = z_{med} - z_{max}$ If $A1 > 0$ and $A2 < 0$, Go to level B Else increase the window size(S_{xy}) If window size $\leq S_{max}$, repeat level A Else output z_{med}</p>
<p>(2) Level B: $B1 = z_{xy} - z_{min}$, $B2 = z_{xy} - z_{max}$ If $B1 > 0$ and $B2 < 0$, output z_{xy} Else output z_{med}</p>
<p>(3) Variables S_{xy} = rectangular window z_{min} = minimum gray level $\in S_{xy}$ z_{max} = maximum gray level $\in S_{xy}$ z_{med} = median gray level $\in S_{xy}$ z_{xy} = gray level at point (x,y) S_{max} = maximum allowable size of S_{xy}</p>

적응 중간값 필터를 적용하면 Fig. 1(b)와 같이 잡음이 제거된 깨끗한 영상이 얻어진다.

3. 윤곽선 인식과 MBF 알고리즘

2.5D 솔리드 CAD 모델을 얻기 위해서는 우선 이미지의 윤곽선 정보가 필요하다. 종래의 MSBF 알고리즘⁽⁵⁾을 개선한 MBF 알고리즘을 적용하여 윤곽선 정보를 획득한다.

3.1 MSBF 알고리즘

Fig. 2는 이진영상으로부터 솔리드 CAD모델 생성에 필요한 윤곽선을 시계방향(CW)으로 추적(tracking) 하기 위한 MSBF 알고리즘을 설명한다. 이진영상을 상부에서부터 좌에



(a) Original image (b) Filtered image

Fig. 1 Result of the adaptive median filtering

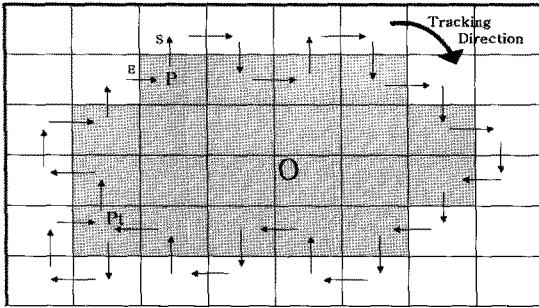


Fig. 2 Recognition of the boundary curve through the MSBF algorithm in the CW tracking

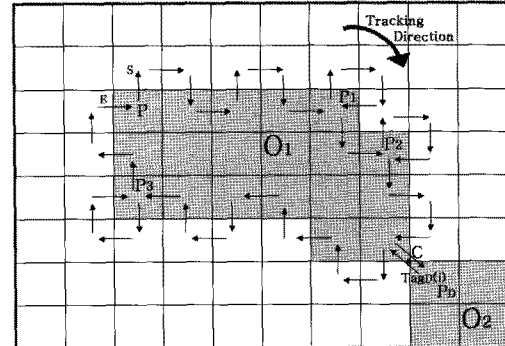


Fig. 5 Recognition of the boundary curve through the TagD(i) vector in the CW tracking

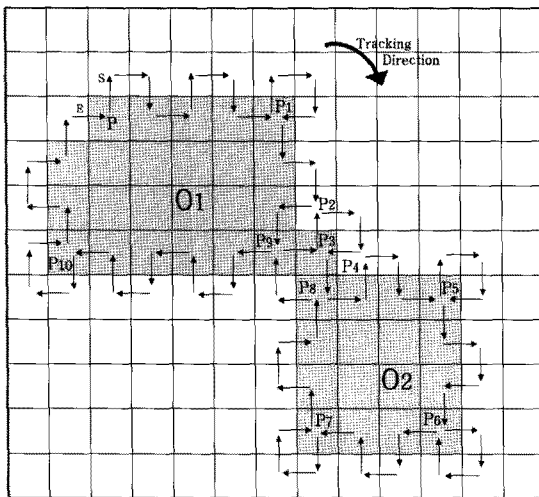


Fig. 3 Recognition of the twisted boundary curve through the MSBF algorithm in the CW tracking

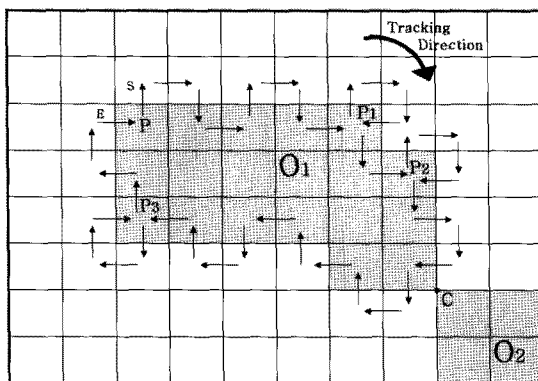


Fig. 4 Misrecognition of the boundary curve through the MSBF algorithm in the CW tracking

서 우로 스캔하다 강도 1인 픽셀(여기서는 회색 픽셀)을 만나면 이미지 상의 물체 O를 인식하기 위해 시작점 P에서 S 추적자를 상부로 이동하고 상부 픽셀이 강도 0인 경우 CW방향으로 추적자를 진행시키기 위해 추적자를 우측으로 이동한다. 이동 중에 강도 1인 픽셀을 만나면 추적자를 좌측으로 이동한다. 이와같은 조건으로 추적자를 이동하면 E 추적자가 시작점 P

로 돌아오게 되고 추적을 멈춘다. 그리고 추적자 이동궤적 내의 강도 1인 픽셀들을 연결하면 물체의 윤곽선이 인식된다.

3.2 실루프와 꼬인 폐곡선

MSBF 알고리즘을 적용하여 이미지 상의 물체 O에 대한 윤곽선을 인식한 Fig. 2의 경우 P_i 픽셀에서 추적자는 루프(loop)를 형성하지만, 이 루프 상의 강도 1인 픽셀을 연결하면 강도 0인 픽셀들 때문에 윤곽선 루프가 형성되지 않는다. 이런 루프를 점루프(point loop)로 정의하고, 강도 1인 픽셀들로 연결되어 물체의 윤곽선을 생성하는 루프를 실루프(real loop)로 정의한다.

Fig. 3과 같은 이미지 상의 물체 O_1 , O_2 의 윤곽선을 인식하기 위해 CW 방향의 추적을 수행한 경우, 픽셀 P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 , P_7 , P_{10} 에서는 점루프가 생성되고, 픽셀 P_8 과 P_9 에서는 실루프가 생성된다. 그리고 픽셀 P_8 에 의해 생성되는 실루프 때문에 O_2 물체의 윤곽선이 인식되고, P_9 와 P 픽셀 때문에 O_1 물체와 O_2 물체의 윤곽선인 꼬인 폐곡선(twisted boundary curve)이 자동 인식된다.

3.3 MSBF 알고리즘의 인식 오류

Fig. 4와 같이 이미지 상의 두물체 O_1 , O_2 가 C점에서 연결된 경우, MSBF 알고리즘을 적용하면, O_1 의 윤곽선은 자동 인식되지만 O_2 의 윤곽선은 인식되지 않는다.

3.4 MSBF 알고리즘의 인식 오류 해법

이미지의 상부로부터 스캔과 CW 방향 추적을 통해 물체의 윤곽선을 인식하는 경우, Fig. 4와 같이 C점에서 접하고 있어 하나의 물체이지만 인식이 안 되는 부분을 방지하기 위해 Fig. 5와 같이 C점에서 픽셀 P_D 의 대각선 방향으로 추적을 위한 TagD(i) 벡터를 고려한다. 즉, CW 방향 추적에서 추적자가 물체의 하측에서 그의 이동방향이 우측에서 좌측으로 바뀌는 경우 우측 하방의 대각선 방향에 존재하는 픽셀 P_D 의 강도를

조사하여 1이면 TagD(i)를 1로 설정하고 P_D 픽셀로 추적자를 이동하여 O₂의 윤곽선을 MSBF 알고리즘으로 추적한다. 추적자가 물체 O₂에서 윤곽선 추적을 계속 진행하여 다시 P_D 픽셀로 돌아와 실루프를 생성하면 TagD(i)를 0으로 설정하고 물체 O₁으로 추적자를 이동시켜 계속 추적을 진행하여 E 추적자가 S 추적자와 일치하는 P 픽셀에서 인식과정을 멈추면 O₁ 물체와 O₂ 물체의 윤곽선인 꼬인 폐곡선(twisted boundary curve)이 Fig.3처럼 자동 인식 된다.

3.5 MBF 알고리즘

MSBF 알고리즘을 적용할 때 3.3절과 같이 O₂의 윤곽선 인식에 실패하는 경우가 발생한다. 그리고 3.2절의 경우와 같이 실루프가 생성되어 꼬인 폐곡선이 생성되면 솔리드 CAD 모델을 생성할 수 없다. 이런 제약을 극복하기 위해 MBF 알고리즘을 창안한다. 우선 3.3절의 경우를 해결하기 위해 3.4절과 같이 Fig.5 C점에서 TagD(i)를 도입하여 O₂ 물체에 대한 실루프를 생성한다. 그리고, Fig. 3과 같이 실루프가 생성되어 꼬인 폐곡선이 생성되면, P₈, P₉와 같은 실루프 생성 픽셀이나 Fig.5의 TagD(i) 생성 P_D 픽셀에서 Healing 과정을 통하여 물체

O₁과 O₂의 윤곽선을 분리하고, 분리된 물체가 아주 작은 경우 그의 윤곽선은 삭제한다.

Fig. 6은 이진영상에서 폐곡선 인식 후에 물체의 구분을 위해 채색한 결과이다. Fig. 6(a)는 MBF 알고리즘을 통해 꼬인 윤곽선이 생성된 결과이며, Fig. 6(b)는 물체가 작으므로 설정된 TagD(i)에 따라서 Healing 과정을 거쳐 작은 물체를 삭제한 후 단순 폐곡선으로 물체를 인식 생성한 결과이다. Fig. 7은 복잡하고 심미적인 물체들로 이루어진 Fig. 1의 예술적 이미지의 윤곽선을 인식 후 폐곡선을 생성하고 채색한 결과이다. 이 두 경우의 예를 통하여 복잡하고 예술적인 이미지에서도 MBF알고리즘이 잘 적용되고 있음을 확인할 수 있다.

4. NURBS 곡선 생성

4.1 NURBS 곡선

MBF를 통해 얻어진 윤곽선 점데이터로부터 솔리드 CAD 모델을 얻어내기 위해서는 우선 3절에서 인식된 윤곽선을 지나는 NURBS(non-uniform rational B-spline) 곡선의 모형화가 필요하다.

식 (1)은 매개변수 u 로 표현되는 차수 k 인 NURBS 곡선의 일반식⁽⁶⁻⁹⁾이다.

$$P(u) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i P_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i N_{i,k}(u)} \quad (1)$$

여기서 P_i 는 i 번째 조정점, w_i 는 조정점 P_i 의 가중치, $N_{i,k}(u)$ 는 차수 k 인 i 번째 접속함수(blending function)이다. 접속함수는 매개변수 u 와 $(n+k+1)$ 개의 매듭값(knot values) t_i 사이의 관계로 식 (2)와 같이 정의된다.

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & t_i \leq u < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i)}{t_{i+k-1}-t_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{t_{i+k}-u}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(u) \quad (2)$$

여기서 t_i 는 i 번째 매듭값이며, 비주기(nonuniform) 매듭값 벡터는 처음과 끝에서 조정점들을 반드시 통과시키기 위해 각각 차수만큼 0과 1을 반복한다.

$$T = (0, \dots, 0, t_k, \dots, t_n, 1, \dots, 1) \quad (3)$$

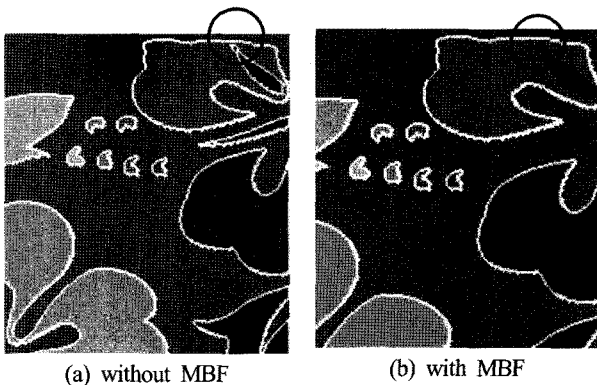


Fig. 6 Removal of small objects due to twisted boundary curves through the MBF algorithm



Fig. 7 Closed boundary curves of an aesthetic image

NURBS 곡선의 차수 k 가 3차 이상이면 C_2 연속성⁽⁷⁻⁹⁾을 보장하므로 연속성 확보를 위한 별도의 계산과정이 필요 없이 NURBS 곡선 보간을 통해 윤곽선 데이터의 CAD모델을 얻을 수 있다.

4.2 NURBS 곡선 보간

식 (1)에 주어진 NURBS 곡선을 이용하여 이미지의 윤곽선 상의 $(m+1)$ 개 점 Q_i 를 통과하는 곡선을 보간하기 위해서는 가중치 w_i , 차수 k , 매듭값 t_i , i 번째 측정점에 대한 매개변수 \bar{u}_i 와 조정점 P_i 에 대한 정보가 필요하다.

위의 값들 중에서 차수와 가중치는 NURBS 곡선 생성 중에 설계자가 적절하게 지정하는 값이고, 매듭값, 매개변수 그리고 조정점의 값을 선정하면 식 (4)와 같이 NURBS 곡선을 보간할 수 있다.

$$Q_i = C(\bar{u}_i) = \sum_{j=0}^m P_j R_{j,k}(\bar{u}_i) \quad (4)$$

여기서 유리함수(rational function)는 다음과 같다.

$$R_{j,k}(u) = \frac{w_j N_{j,k}(u)}{\sum_{l=0}^m w_l N_{l,k}(u)} \quad (5)$$

식 (4)를 $(m+1)$ 개의 윤곽선 상의 점데이터에 대한 행렬식으로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \dots R_{j,k}(\bar{u}_0) \dots \\ \dots R_{j,k}(\bar{u}_1) \dots \\ \dots \dots \dots \\ \dots R_{j,k}(\bar{u}_m) \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \dots \\ P_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ \dots \\ Q_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

또는

$$[R][P] = [Q] \quad (7)$$

즉, Q_i 를 보간하는 NURBS곡선을 찾기 위해서는 식 (8)과 같이 조정점 $[P]$ 를 구하면 된다⁽⁶⁻⁹⁾.

$$[P] = [R]^{-1}[Q] \quad (8)$$

식 (8)에서 윤곽선 상의 $(m+1)$ 개 점데이터에 대한 유리함수 행렬 $[R]$ 의 역행렬을 구하기 위해서는 Q_i 에 할당된 매개변수 \bar{u}_i 와 그에 따른 $(m+k+1)$ 개의 매듭값이 우선 잘 선정

되어야 한다⁽⁷⁻⁹⁾.

점데이터에 대한 매개변수 할당^(8,9)은 식 (9)와 같이 측정점 간의 거리로 정의된다.

$$\begin{aligned} \bar{u}_0 &= 0 \\ \bar{u}_i &= \bar{u}_{i-1} + \frac{|Q_i - Q_{i-1}|^e}{\sum_{i=0}^{m-1} |Q_{i+1} - Q_i|^e} \quad 1 \leq i \leq m \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 e ($0 \leq e \leq 1$)는 멱지수이며 \bar{u}_i 는 i 번째 매개변수이다. $e=0$ 인 경우 균일(uniform) 매개변수 할당이며 $e=1/2$ 는 중심(centripetal), $e=1$ 은 활선길이(chord length) 매개변수 할당이다. 이와 같이 점데이터를 NURBS 곡선으로 모델링할 경우 곡선 형상은 매개변수에 의해 결정되므로 이를 합리적으로 선정하면 곡선 형상이 개선된다.

식 (2)에 주어진 바와 같이 접속함수 결정에는 매듭값 선정이 필요하다. 매듭값은 점데이터에 할당된 매개변수를 이용하는 다음의 평균매듭법(averaging knot method)⁽⁶⁻⁸⁾을 적용한다.

$$\begin{aligned} t_0 &= \dots = t_{k-1} = 0 \\ t_{m+1} &= \dots = t_{m+k} = 1 \\ t_{i+k-1} &= \frac{1}{k-1} \sum_{l=i}^{i+k-2} u_l : 1 \leq i \leq m-k+1 \end{aligned} \quad (10)$$

평균매듭법은 각 점데이터에 할당된 매개변수 \bar{u}_i 의 평균값을 이용하여 매듭값을 선정하는 방법으로 곡선 형상이 매듭값에 반영되며 접속함수 행렬요소를 대각선 방향에 위치시켜 수치적 안정성이 확보된다^(7,8).

식 (2), (5), (9), (10)과 설계자가 지정하는 가중치 w_i 를 이용하면 유리함수 행렬이 결정되고, 식 (8)을 이용하면 조정점 행렬 $[P]$ 가 구해진다. 그리고 식 (1)에 n 대신 m 을 대입하면 3절에서 인식된 윤곽선에 대한 NURBS 곡선이 얻어진다.

5. 시뮬레이션

앞 절에서 언급한 바와 같이 연속성을 보장하고 NURBS곡선 모델링 시 진동을 방지하기 위해 곡선의 차수 k 는 3차로 설정한다. 그리고 부드럽게 곡선을 보간하기 위해 가중치의 양단을 1로하고, 내부 조정점에서 가중치는 인접 조정점과 수평선이 이루는 각도의 cosine 성분으로 지정한다.

본 논문에서 개발된 MBF알고리즘과 NURBS 보간을 이용한 CAD 모델 생성, 그리고 CAM 시스템과의 인터페이스를 통한 2.5D 정밀부조법의 급속 일괄처리시스템(quick turnaround

2.5D engraving system) 의 성능을 검증하기 위해 Fig. 7의 윤곽선 인식 결과에 4절에서 개발된 NURBS 보간법을 적용하여 NURBS 곡선을 생성하고, IGES변환기⁽¹⁰⁾를 이용하여 IGES파일을 생성한다. 그리고 CAD 모델을 생성하기 위해 상용 CAD 소프트웨어인 CATIA에 인터페이스 한다. Fig. 8(a)는 CATIA 상에서 인터페이스된 NURBS 폐곡선 와이어 모델을 가시화 한 것이다. 심미적이고 복잡한 이미지의 TechArt CAD 모델이 정교하고 부드럽게 생성된 것을 확인할 수 있다.

그리고, 2.5D 솔리드 CAD 모델을 생성하기 위해, NURBS 곡선에 수직한 방향으로 폐곡선별로 0.2mm의 단차를 부여한다. Fig. 8(b)는 단차가 부여된 솔리드를 가시화 한 것이고, Fig. 8(c)는 그것들을 국부적으로 확대한 것이다. CAD 모델이 생성되었기 때문에 설계 내용의 편집과 제품의 디자인 혁신에 응용이 쉽고 빠르게 이루어진다.

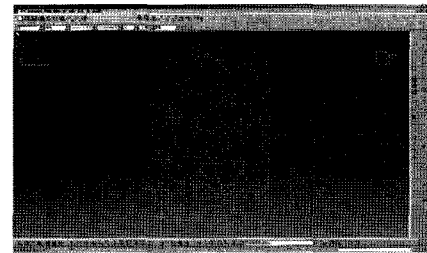
Fig. 8(d)는 2.5D 정밀 부조가공을 위해 상용 CAM 시스템인 PowerMill에 CATIA에서 생성된 솔리드 정보를 인터페이스 한 결과이고, Fig. 8(e)는 PowerMill에서 엔드밀로 가공시물레이션을 수행한 결과이다. 또한, Fig. 8(f)는 가공시물레이션 결과를 확대한 것으로 2.5D 정밀 부조가공이 심미적이고 정교하게 잘 이루어진 것을 확인할 수 있다.

그리고, 개발된 2.5D 정밀부조법의 급속 일괄처리시스템은 Pentium 4 CPU(3.2GHz)를 사용하여 2D 이미지 인식에서부터 NURBS 곡선보간과 2.5D CAD 모델 생성, 그리고 CAM 시스템에서 가공시물레이션까지의 일괄처리 작업에 10분 정도의 시간이 소요됨을 확인하였고, 심미적 기능을 추가하는 TechArt 디자인 혁신작업을 급속하게 달성할 수 있음을 보였다.

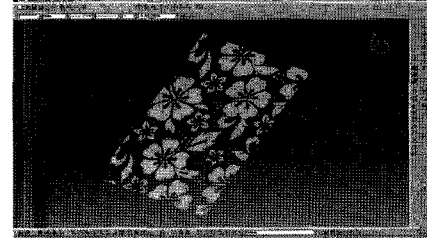
6. 결 론

예술적인 2D 이미지로부터 빠른 시간에 정교하고 심미적인 2.5D CAD 모델을 생성하고 CAD/CAM 시스템과 연계하여 2.5D 정밀부조 가공을 실현하는 급속 정밀부조법을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 적응중간값 필터와 이진영상 처리 기법을 이용하여 2D 이미지 상의 불필요한 노이즈를 제거하고 윤곽선 인식의 효율성을 증대하였다.
- (2) 점루프와 실루프를 정의하여 MSBF 알고리즘에서 발생하는 윤곽선 인식 오류를 해결하였다.
- (3) MBF 알고리즘을 이용하면 실루프에서 발생하는 꼬인 곡선의 인식과 Healing 과정을 통하여 꼬인 곡선의 분해가 이루어진다.
- (4) 평균매듭법과 먹지수를 이용한 매개변수 할당법을 통하여 인식된 윤곽선을 심미적인 NURBS곡선으로 보간하는 방법을 개발하였다.



(a) Visualization of CAD model(CATIA)



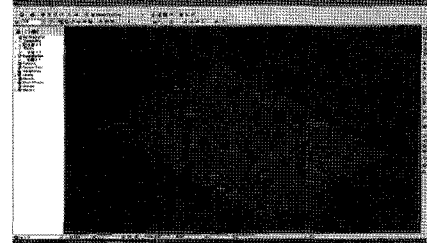
(b) Visualization of CAD model(CATIA)



(c) Visualization of CAD model(CATIA)



(d) Visualization of CAD model(PowerMill)



(e) Machining Simulation -1(PowerMill)



(f) Machining Simulation -2(PowerMill)

Fig. 8 Machining Simulation on the developed 2.5D Quick Turnaround Engraving System

- (5) IGES 인터페이스를 통해 CAD 시스템 상에서 예술적 이미지의 2.5D 솔리드 모델을 생성하는 TechArt CAD 기술을 개발하였다.
- (6) TechArt CAD 기술을 CAM 시스템과 연계하여 심미적인 2D 이미지 인식에서부터 2.5D CAD 모델 생성, 그리고 CAM 가공시물레이션까지의 일괄처리 작업을 Pentium 4(3.2GHz) 상에서 10분 이내에 수행할 수 있는 2.5D 급속 정밀부조시스템을 개발하였다.

참 고 문 헌

- (1) Courteille, F., Crouzil, A., Durou, J. D., and Gurdjos, P., 2008, "3D-spline Reconstruction using Shape from Shading: Spline from Shading," *Image and Vision Computing*, Vol.26, No. 4, pp. 466~479.
- (2) Milan, S., and Pavel, N., 2000, "Transformations between Pictures from 2D to 3D," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.28, No. 1-2, pp. 69~84.
- (3) Gonzalez, R. C., and Woods, R. E., 2002, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New York.
- (4) Ballard, D. H., and Brown, C. M., 1982, *Computer Vision*, Prentice-Hall, New York.
- (5) Gose, E., Johnsonbaugh R., and Jost, S., 1996, *Pattern Recognition and Image Analysis*, Prentice-Hall, New York.
- (6) Pralay, P., and Ballav, R., 2007, "Object Shape Reconstruction through NURBS Surface Interpolation," *Int. Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 2, pp. 287~307.
- (7) Piegl, L., and Tiller, W., 1996, *The NURBS Book*, 2nd ed. Springer-Verlag, New York.
- (8) Lee, S. B., Kim, K. D., and Chung, S. C., 2000, "Machined Surface Inspection Based on Surface Fairing on the Machine Tool," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 24, No. 4, pp. 937~945.
- (9) Ma, W., and Kruth, J. P., 1995, "Parameterization of Randomly Measured Points for Least Squares Fitting of B-Spline Curves and Surfaces," *Computer Aided Design*, Vol. 27, No. 9, pp. 663~675.
- (10) Lee, S. B., and Chung, S. C., 1999, "On-the-Machine Measuring and Inspection System for Freeform Surfaces based on IGES Format," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 23, No. 4, pp. 598~607.