

# 측정 점데이터로부터 단면 데이터 추출에 관한 연구

우혁제, 강의철, 이관형\* (광주과학기술원 기전공학파)

## A Study on Cross-sectioning Methods for Measured Point Data

Hyuckje Woo, Eui-Chul Kang and Kwan H. Lee\* (K-JIST)

### ABSTRACT

Reverse engineering refers to the process that creates a physical part from acquiring the surface data of an existing part using a scanning device. In recent years, as the non-contact type scanning devices become more popular, the huge amount of point data can be obtained with high speed. The point data handling process, therefore, becomes more important since the scan data need to be refined for the efficiency of subsequent tasks such as mesh generation and surface fitting. As one of point handling functions, the cross-sectioning function is still frequently used for extracting the necessary data from the point cloud. The commercial reverse engineering software supports cross-sectioning functions, however, these are only for cross-sectioning the point cloud with the constant spacing and direction. In this paper, adaptive cross-sectioning algorithms which allow the changes of the spacing and directions of cross-sections according to the curvature difference of the point cloud data are proposed.

**Key Words :** Reverse engineering (전산 역설계), Pre-processing(전처리), Point cloud data(점 데이터군), Uniform cross-sectioning(균일 단면화), Adaptive cross-sectioning(선택적 단면화)

### 1. 서론

전산 역설계(Reverse Engineering) 기술이란 실제 존재하는 물체를 측정 후 기하학적 형상정보를 추출하여 CAD 모델을 복원하는 과정을 말하며, 이 기술을 패속조형, NC 가공, CAE, Inspection 등에 응용함으로써 제품개발 시간을 획기적으로 단축할 수 있다. 최근 다양한 비접촉 측정장비의 발달로 측정 시간은 매우 급격하게 감소되어진 반면 측정을 통해 얻어진 데이터는 그 형태가 매우 다양하게 되었고 데이터양 또한 크게 증가하게 되었다. 따라서 이러한 장비 발달에 따라 대용량 점데이터의 빠른 처리에 관한 연구가 더욱 중요하게 되었다.

측정 데이터로부터의 곡면 생성 절차는 Fig. 1 과 같이 크게 두가지 방법으로 나뉘어질 수 있는데, 점데이터로부터 폴리곤 모델을 생성한 후 곡면 모델을 생성하는 방법은 모델링 수행속도를 획기적으로 단축시킬 수 있으나, 아직까지는 높은 정밀도 및 높은 곡면품질을 요구하는 제품생산에의 응용보다는 애니메이션, CG 등에 응용되어지고 있고 최근

많은 연구가 이루어지고 있다. 기존의 방법이라고 할 수 있는 점데이터로부터 단면/경계 곡선을 생성하여 곡면을 생성하는 절차는 많은 상용 CAD 소프트웨어에서 지원하는 방법으로 이러한 경우 곡면 생성에 필요한 단면데이터의 빠른 생성 및 커브 생성이 필수적이다 본 연구에서는 기존의 곡면 모델링 절차를 지원하기 위한 점데이터 처리기술의 일환으로 점데이터로부터의 단면 데이터 추출에 관한 연구를 수행하였고 보다 효율적이고 빠르게 모델링에 필요한 단면 생성을 위한 adaptive 단면화 방법을 개발하였다.

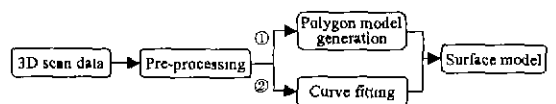


Fig. 1 Reverse engineering process

곡면생성 지원을 위해 측정데이터로부터 adaptive 한 단면 데이터 추출에 관한 연구는 지금까지 이루어진 적이 별로 없었고 측정데이터를 패속조형장비

에 적용하기 위해 단면데이터를 추출하는 연구들이 주로 수행되어 왔다. 본 연구개발과 관련된 몇몇 기존 연구 및 상용 소프트웨어에서 지원하는 기능들을 살펴보면 다음과 같다. Vail[1] 등은 RP 장비용 입력 데이터를 만들기 위해 점데이터군을 직접 슬라이스 하는 방법을 고찰하였으나 기울어진 형상의 경우와 데이터가 조밀하지 않은 경우 많은 문제점이 있음을 언급하였다. Lee 와 Woo[2]는 측정데이터를 RP 장비에 이용하기 위해 파트의 형상정보를 고려하여 파트제작에 필요한 단면데이터를 추출하는 연구를 수행하였다. 하지만 RP 장비 특성에 맞추어 적층방향인 한방향에 대해서만 단면화 작업을 수행하였다. 기존의 RE 소프트웨어들이 지원하는 단면화 방법은 기준이 되는 축이나 평면을 정의하고 이에 수직인 무한 평면들로부터 단면데이터를 생성하는 방법이 가장 일반적이다. 그밖에 중심축을 만들고 원주방향으로 단면데이터를 생성하는 방법이 있고, 존재하는 곡선의 기울기에 normal 한 평면으로부터 단면화하는 방법 등이 있다[5]. 본 연구에서는 형상 변화에 따른 단면데이터 추출방법 개발을 위해 우선 노이즈가 없고 branching 이 이루어지지 않는 데이터로 가정하여 수행하였다.

## 2. 측정 데이터의 단면화

### 2.1 균일한 단면화

측정 데이터는 실제로 곡면과 같이 연속적이 아니고 이산적인 x, y, z 좌표로만 이루어져 있기 때문에 단면데이터 생성이 난해하다. 따라서 단순하게 점을 뽑는 정도로는 원하는 데이터를 얻을 수 없고 원하는 위치에서의 이웃하는 점들간의 관계를 고려하여 새로운 보간점들을 생성하는 방법으로 단면 데이터화 하는 작업이 이루어져야 한다.

측정 데이터로부터 하나의 기준축에 대해 균일한 방향 및 일정 간격으로 단면 데이터를 추출할 경우 Fig. 2 와 같은 절차로 이루어질 수 있다.

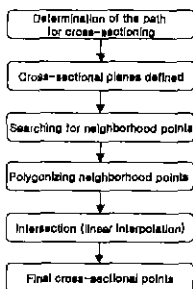


Fig. 2 Uniform cross-sectioning process

본 연구에서 구현된 위의 절차에 대해 간단히 설명하면 먼저 기준축을 사용자의 정의에 따라 설정하고, 기준축에 따라 원하는 간격으로 단면화하고자 하는 위치에서 기준축과 수직인 단면화 평면(cross-sectioning plane)을 생성한다. 이후 설정된 각각의 단면화 평면으로부터 Fig. 3(a)와 같이 일정거리안에 들어오는 이웃점(neighborhood points)들을 추출한다. 다음 단계로 추출된 점을 평면을 기준으로 상하로 분리하고 ordering 작업을 거쳐, Fig. 3(b)와 같이 Christiansen 알고리즘[3]을 적용하여 상하 점들간의 연결관계를 설정한다. 최종적으로 평면과 상하 점들과의 관계에 선형적 보간을 거쳐 평면상의 점들을 생성하여 최종 단면데이터를 추출한다.

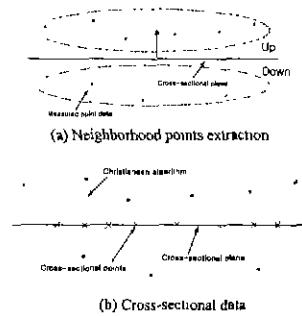


Fig. 3 Cross-sectioning the point cloud data

### 2.2 Adaptive 단면화

단면 데이터 추출시 항상 균일하지 않고 측정데이터 형상에 따라 단면 데이터 생성 방향 및 간격이 적절하게 조절된다면 곡면생성 작업의 보다 효율적 지원이 가능해진다. 따라서 본 연구에서는 앞에서 설명한 균일한 단면화 방법을 기본으로 하여 효율적인 adaptive 단면화 방법을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 방법의 절차를 요약하면 Fig. 4 와 같다.

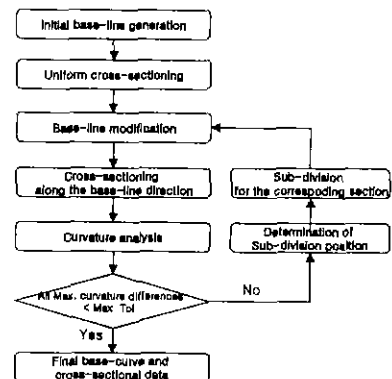


Fig. 4 Adaptive cross-sectioning procedure

### 2.2.1. 초기 Base line 생성 및 수정

개발된 알고리즘을 살펴보면 제산을 위한 초기 조건으로 먼저 base-line 을 설정한다. 초기 base-line 은 Fig. 5(a)와 같이 측정 점데이터에 대해 사용자가 임의로 생성하도록 하였으며 이를 기준으로 일정간격으로 base-line 에 수직한 평면을 생성한다. 이후 각 평면에 대해 이웃하는 점들을 추출하여 각 무게 중심을 계산하고 무게중심에 해당하는 점들을 일정 방향으로 차례로 연결하여 base-line 을 수정한다. Fig. 5(b)는 이러한 방법을 통하여 초기 base-line 이 수정된 모습을 보여주고 있다.

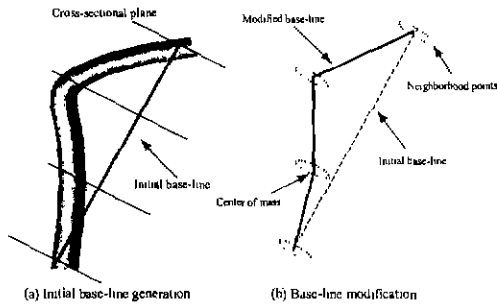


Fig. 5 Initial base-line generation and modification

### 2.2.2. 각 영역의 곡률 변화값 계산

수정된 base-line 의 방향변화에 따라 점데이터군은 Fig. 6(a)와 같이 각 영역으로 나뉘어지고 각 영역에 대해 base-line 과 평행한 방향으로의 단면화를 통해 Fig. 6(c)와 같은 곡률 분석을 위한 데이터를 얻는다. 곡률분석용 데이터를 얻기 위해서는 base-line 을 기준으로 형상에 따라 원주방향, 수직방향, 평행방향 등으로의 단면화를 고려할 수 있다.

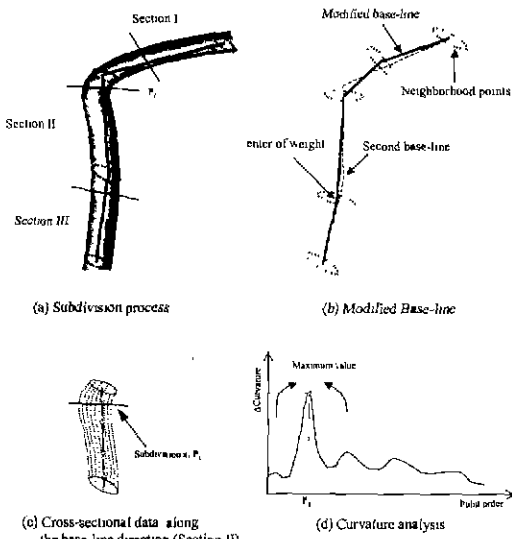


Fig. 6 Curvature analysis and subdivision process

곡률분석용 데이터는 단면화 평면들 위에 존재하는 점데이터군들의 집합으로 각각을 한 평면상의 2 차원 데이터라 가정할 수 있다. 따라서 이러한 데이터의 곡률을 계산하기 위해서 Fig. 7 과 같이 국부좌표로 변환한 후 2 차 다항식  $f(t) = \sum_{i=0}^2 a_i t^i$  로

근사화하는 방법을 사용하여 곡률값을 계산하였다. 곡률계산 방법을 간단히 설명하면 Fig. 7 과 같이 이웃하는 세점,  $X_{i-1}$ ,  $X_i$ ,  $X_{i+1}$  으로부터 새로운 basis,  $b_1$ ,  $b_2$  를 계산하여 국부좌표로 변환한다. 변환된 세점에 대해 다음 식 (1)을 통해  $X_i$  의 곡률을 계산할 수 있다[4].

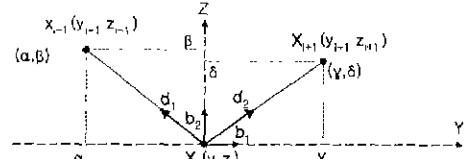


Fig. 7 Local coordinate system for curvature analysis

$$\left[ \frac{f''(t)}{(1+f'^2(t))^{3/2}} \right] = \frac{2a_2}{(1+a_1^2)^{3/2}} \quad (1)$$

여기서  $a_1$ ,  $a_2$  는 2 차 다항식 계수를 의미한다.

다음 Fig. 7 은 위의 식들을 이용하여 각각 점데이터로부터 계산된 곡률값 및 곡률 변화값을 구한 예를 보여주고 있다.

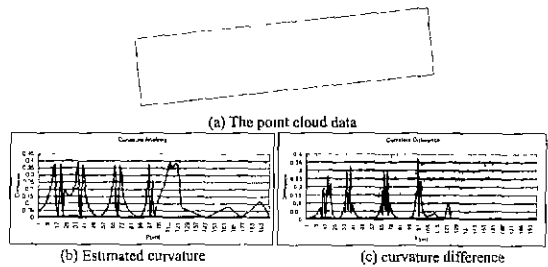


Fig. 8 Curvature estimation for the point cloud data

### 2.2.3. Subdivision 및 base-line 재구성

다음 단계로 앞 절에서 설명한 방법을 통해 계산된 곡률 변화값을 비교하여 subdivision 과정을 수행한다. Subdivision 과정은 각 영역에서 곡률 변화값이 가장 큰 점데이터가 존재하는 위치를 기준으로 두개의 영역으로 분할하여 수행 되는데 이를 통해 base-line 을 재구성할 수 있다.

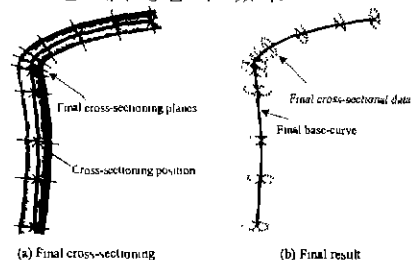


Fig. 9 Final base-curve and cross-sectional data

즉, 앞에서 나뉘어진 각 영역에 대해 각각 곡률 변화값이 가장 큰 점데이터를 추출한다(Fig. 6(d)). 추출된 점데이터의 곡률 변화값이 사용자가 정의한 공차보다 클 경우 그 위치에서 단면화 평면의 이웃 점을 추출하여 새로운 무게중심 점을 추가하게 된다. 각 영역에 대해 모두 무게중심 점을 추가 하면 이를 기준으로 새로운 base-line 이 재구성될 수 있다(Fig. 6(b)). 이러한 방법을 모든 영역에 대해 곡률 변화값이 공차보다 작아질 때까지 반복적으로 수행 하면 형상변화가 많이 이루어지는 영역에 대해서는 계속 무게 중심점들이 추가되고, 최종적으로 얻어진 무게 중심점들을 이용해 B-spline 곡선으로 근사화하면 Fig. 9 와 같은 최종 base-curve 를 생성할 수 있다. 최종 단면 데이터는 최종 base-curve 를 기준으로 각 무게 중심점의 위치와 일정 간격을 기준으로 단면 데이터를 추출함으로써 최종적인 형상 변화에 따른 adaptive 단면 데이터를 얻을 수 있다.

### 3. 실험결과

본 연구에서 제안된 알고리즘을 다음 Fig 10(a) 와 같은 형상에 적용하였다. 본 방법을 구현하기 위해 RE 소프트웨어인 Surfacar 9.0 과 Visual C++ 6.0 을 사용하였다. Fig. 10(b)은 초기 base-line 생성 및 수정된 과정을 보여주고 있다.

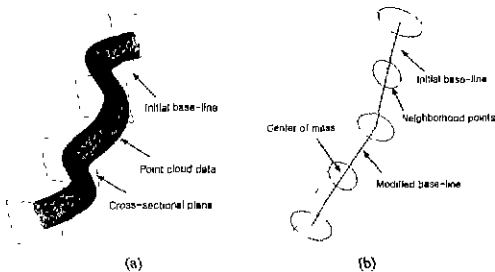


Fig. 10 Initial base-line

다음 단계로 형상 변화를 고려하기 위해 곡률을 계산하여 곡률변화가 가장 많은 점을 추출하게 되는데 Fig. 11(a)는 이 과정을 전체적으로 보여주고 있고, Fig. 11(b)는 한 영역에 대한 곡률계산을 위한 base-line 과 평행 방향의 단면데이터 및 계산된 임계점들을 보여주고 있다.

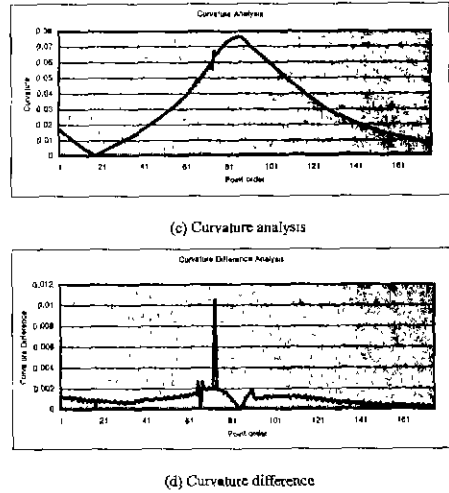
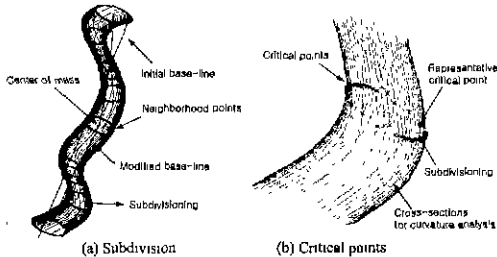


Fig. 11 Curvature analysis for subdivision

Figure 11(c)와 (d)는 한 영역에서의 곡률값 및 곡률 변화값을 계산한 결과를 보여주고 있고, Fig.11(d)에서 곡률 변화값이 제일 큰 부분에서 subdivision 위치가 결정된다. 다음 Fig. 12 에서 이후 수행되는 과정들을 차례로 보여주고 있다.

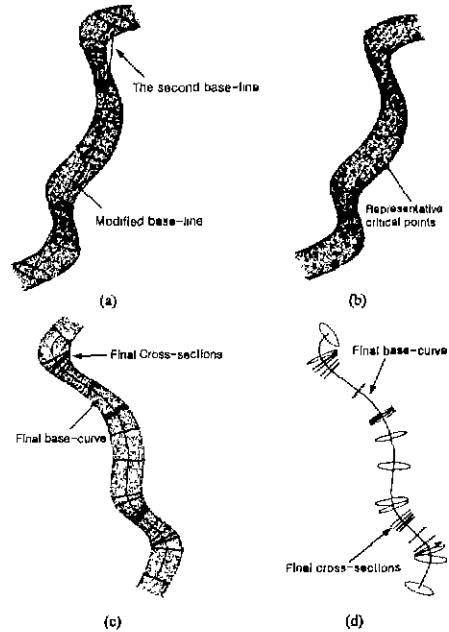


Fig. 12 Subdivision and final cross-sections

Figure 12(a)는 두번째 subdivision 과정이 수행된 예를 보여주고 있고, Fig. 12(b)는 알고리즘을 5 번 까지 반복적으로 수행된 결과 얻어진 임계점들을 보여주고 있다. 임계점들 기준으로 무게중심을 새롭게 계산하여 얻어진 base-curve 와 단면화 작업 과

정은 Fig. 12(c)에서 보여주고 있고, Fig. 12(d)는 최종적으로 얻어진 base-curve 및 단면데이터 결과를 보여주고 있다. 본 알고리즘을 통해 얻어진 결과를 보면 형상이 변화하는 곳에서 단면 데이터를 많이 생성되었고 형상 변화가 없는 곳에서는 일정 간격으로만 단면 데이터가 생성된 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 측정 데이터로부터 곡면 생성을 위해 필요한 단면 데이터 추출에 관한 연구를 수행하였다. 기존 상용 RE 소프트웨어는 대부분 일정한 축을 중심으로 균일 간격으로 점데이터로부터 단면 데이터를 추출하는 기능을 지원한다. 하지만 필요에 따라서 형상변화에 따라 선택적으로 단면데이터가 생성된다면 작업이 보다 효율적으로 이루어질 수 있을 것이다. 따라서 균일한 간격으로 단면화하는 방법 개발과 함께 측정데이터 형상에 따라 필요에 따라 단면데이터가 추출되는 adaptive 단면화 방법을 개발하였다. 얻어진 결과를 향후 곡면생성에 이용하므로 보다 신속하고 효율적인 작업이 이루어질 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Vail, N. K., Wilke, W., Bieder, H., and Jünemann, G., "Interfacing Reverse Engineering Data to Rapid Prototyping," Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 481 - 490, 1996.
2. Lee, K. H. and Woo, H., "Direct Integration of Reverse Engineering and Rapid Prototyping," Computers & Industrial Engineering, Vol. 38, pp. 21-38, 2000.
3. Miyake, Y., Kondo, T., Kaneko, S., Igarashi, S. and Narahara, H., "Reconstruction of Three Dimensional Surface from Slice Positional Data," Rapid Product Development, pp. 587-592, 1997.
4. 우혁제, 이관행, "리버스 엔지니어링으로 생성된 데이터를 이용한 3 차원 급속시작기술 연구," 한국정밀공학회 98 년도 춘계학술대회 논문집, pp. 938-908. 1998.
5. Surfacer User's Guide, Imageware Inc., 1997.