

## 역공학을 위한 Sweep 곡면 모델링에 관한 연구

임금주\*(전북대 대학원 기계공학과), 이희관 (전북대 공업기술연구소),  
양균의(전북대 기계공학과)

### A Study on the Sweep Surface Modeling for Reverse Engineering

K. J. Lim(Mech. Eng. Dept., CBNU), H. G. Lee(Mech. Eng. Dept., CBNU),  
G. E. Yang(Mech. Eng. Dept., CBNU)

#### ABSTRACT

Many various products are manufactured which have sculptured surfaces recently. Constructing surface of these models is required technique called reverse engineering. In reverse engineering, a product which has sculptured surfaces is measured and we create surface model to acquire complete model data of object. Measured point data needs preprocess and sampling. Next a set of point data in a plane fit section curve. At last, surface is generated by fitting to section curves. Here we uses sweep surface. Sweep surface is compatible fitting CAD model to drawing. This paper discusses converting approximation of NURBS surface as a standard surface.

**Key Words** : Sweep Surface (Sweep 곡면), Surface Modeling(곡면 모델링), NURBS, Reverse engineering(역공학), Poine data(측정점), B-spline Curve, Section Curve(단면곡선), Approximation(근사화)

#### 1. 서론

산업이 발달하면서 다양한 제품들이 나오고 있다. 특히 자유곡면을 가진 제품들은 clay 모델을 제작하여, 모델의 치수데이터의 획득을 위해 형상을 측정하여 처리해야만 한다. 3차원 digitizing 측정기를 이용하여 형상에 대한 치수데이터를 획득하고 데이터의 처리와 함께 형상에 대한 완전한 곡면을 만들어내는 기술을 역공학이라 한다. 역공학은 물체만 있고 CAD정보가 없는 경우 예를 들면, 문화재나. 인체와 같이 초기 설계시에 CAD 시스템을 사용하지 않은 경우, 그리고 CAD 정보가 손실 또는 훼손된 부품을 재생산하거나, 물품의 형상이 생산과정에서 수정 및 변경되었을 경우 매우 유용한 기술이다.

본 논문에서 사용한 방법은 측정된 점데이터를 전처리하여 단면곡선을 만들고 그 단면곡선으로 곡면을 만드는 3차원 곡면모델링이 필요하다. 3차원 곡면 중에는 여러 가지가 있는데 그 중에서 Sweep 곡면은 2차원 단면곡선이나 profile을 단순화시킴으로서 설계자가 원하는 상당히 복잡한 3차원 곡면 모델링을 쉽게 할 수 있다. 이는 많은 산업제품들이 단면의 형태로 설계되기 때문에 역공학에서는 상당히

유용한 기술이다. 만들어진 제품이 설계된 형상과 약간 차이가 날지라도 실제제품으로부터 계구성된 곡면 모델은 처음 설계된 형상의 대칭성을 유지하거나 그 형상을 하나의 단면에서 다른 단면으로 부드럽게 이동시킨다고 여겨진다. 그러나 B-spline 곡면 fitting 등의 응용에는 부적당하다. 왜냐하면 생성된 곡면 모델의 부분적인 형상이 측정 오차나, tool marks나 사물 형상의 일그러짐에 쉽게 영향을 받기 때문이다. 따라서 이러한 역공학을 위해서는 sweep 곡면 모델링이 필요하다. sweep 곡면은 응용성이나 곡면의 해석능력이 다른 곡면에 비하여 우수하지만 다른 곡면과의 호환성이 없고 국부적인 수정이 어려워 표준적인 곡면표현으로 바꾸는 것이 요구된다.

#### 2. 측정점의 획득

측정점의 획득 방법에는 크게 빛, 소리, 마그네틱 등을 이용하는 비접촉식과 압의 끝에 기계적인 프로브를 사용하여 사물의 곡면에 직접 접촉하여 측정하는 접촉식 방법으로 나눌 수 있다. 측정방법을 분류해보면 Fig. 1과 같다.

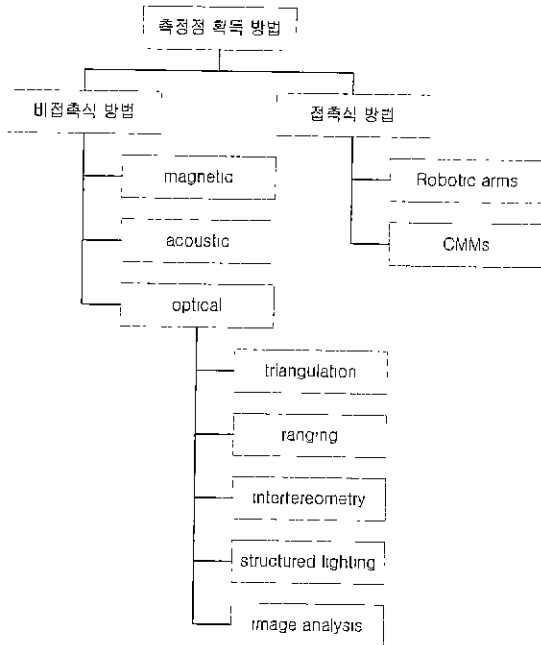


Fig 1 Measuring Method of point data

### 3. 단면곡선과 Sweep곡면 생성

#### 3.1 단면곡선

B-spline 곡선은 부분적인 수정이 가능하기 때문에 아주 유용한 곡선이다. 각각의 정점은 단지 basis function이 0이 아닌 곳의 매개변수 값의 범위에서만 곡선의 형상에 영향을 미친다 또 B-spline Basis는 basis function의 order를 허용하고 따라서 최종 곡선의 차수를 조정점의 수의 변화 없이 변화시킬 수 있다.

##### 3.1.1 B-spline 곡선

곡선이 지나는 점의 위치 벡터를  $C(t)$  라고 할 때 매개변수  $t$ 에 대한 B-spline 곡선의 방정식은 (식 3-1)과 같이 표현할 수 있다

$$C(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t) \quad (\text{식 3-1})$$

$$t_{\min} \leq t < t_{\max}, \quad 2 \leq k \leq n+1$$

여기서  $B_i$ 는  $n+1$ 개의 다각형 조정점으로 정의되는 위치벡터이고  $N_{i,k}$ 는 B-spline 기저함수이다.

order  $k$ 의  $i$  번째 B-spline 기저함수  $N_{i,k}(t)$ 는 (식

3-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \leq t < x_{i+1} \\ 0 & \text{위의 경우} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1}-x_i} + \frac{(x_{i+k}-t)N_{i-1,k-1}(t)}{x_{i+k}-x_{i+1}} \quad (\text{식 3-2})$$

계산상  $0/0=0$ 을 채용하고, 매개변수  $t$ 는  $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$ 를 만족하면서 점  $P(t)$ 를 따라간다

#### 3.2 Sweep 곡면생성

Sweep 곡면은 윤곽곡선과 단면곡선으로 표현되는 곡면으로, 단면곡선이 윤곽곡선을 따라가면서 생성되는 궤적으로 정의된다.

단면곡선이 따라가는 길을 마련하는 곡선을 안내곡선이라 부른다 안내곡선은 단면곡선의 이동만을 통제하므로 정의될 sweep 곡면 상에 있지 않아도 된다.

##### 3.2.1 Sweep 곡면식

Sweep 곡면식은 (식 3-3)과 같다.

$$S(u, v) = \alpha(v)S_0(u, v) + \beta(v)S_1(u, v)$$

$$\text{여기서 } S_0(u, v) = \alpha(v)[G_0(u) + D_0(v)] + \beta(v)[G_0(u) + D_1(v)]$$

$$S_1(u, v) = \alpha(v)[G_1(u) + D_0(v)] + \beta(v)[G_1(u) + D_1(v)]$$

$$; 0 \leq u, v \leq 1 \quad (\text{식 3-3})$$

단,  $G_i(u)$ : 단면 곡선의 식  $i=0, 1$   
 $D_i(v)$ : 안내 곡선의 식  $i=0, 1$

$\alpha$ 와  $\beta$ 는 혼합함수로서

$\alpha(0)=\beta(1)=1, \alpha(1)=\beta(0)=1$ 이고

$\alpha(u) + \beta(u) = \alpha(v) + \beta(v) = 1$

$\alpha(u) = 1-u, \beta(u) = u$  이다.

만약 Sweep 곡면이 3개 이상의 단면이나 윤곽곡선으로 이루어진 곡선 망 형태의 곡면이라면 (식 3-4)와1 같은 Hermit 혼합함수를 선택 할 수 있다.

$$\alpha(u) = 1 - 3u^2 + 2u^3$$

$$\beta(u) = 3u^2 - 2u^3$$

(식 3-4)

### 3.2.1 Sweep 곡면형성순서

Sweep 곡면은 다음과 같은 과정을 거친 후 형성된다.

- ① 단면곡선의 이동
- ② 윤곽곡선에 의한 단면곡선의 수정
- ③ 단면곡선의 혼합

## 4. Sweep 곡면 형성과 오차계산

측정 점데이터 처리 프로그램인 SURFACER 90을 이용하여 점처리에서부터 단면곡선 생성, Sweep 곡면 형성, 그리고 NURBS 곡면을 생성하고 비교하였다. Fig 2는 인체의 다리부분 형상의 깁스를 측정 한 데이터이고 Fig. 3은 깁스 측정점의 일부분이다 측정은 3차원 레이저 측정기를 이용하였다.

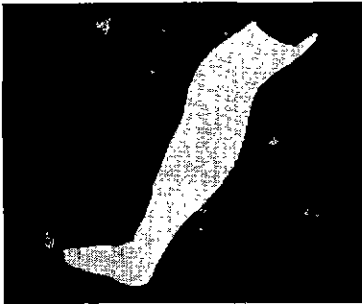


Fig 2 Gips

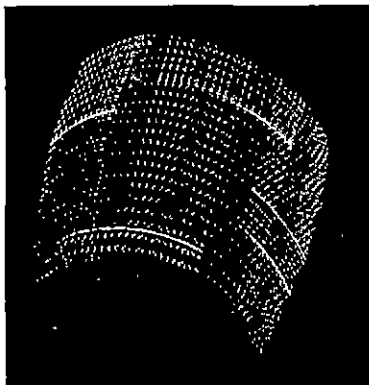


Fig. 3 Part of point data

위의 측정점 데이터에서 단면곡선을 생성하기 위하여 단면 점데이터를 생성한 다음 다량의 점 데이터를 샘플링 한다. Fig. 4는 측정점 데이터에서 단면 곡선을 생성하기 위하여 처음의 측정점 데이터에서 단면 점을 생성한 모습을 나타낸다.

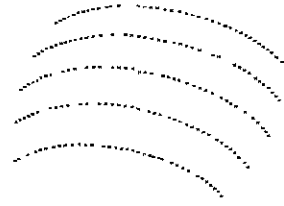


Fig 4 Section Point Data

위에서 추출한 단면 점데이터를 이용하여 단면 곡선을 형성한다. 형성된 곡면은 3차 B-spline 곡선이다 형성된 곡선의 방향이 일관되게 되어야 곡면 형성시에 꼬임 현상이 발생하지 않는다. Fig. 5는 위에서 형성된 단면곡선으로 Sweep 곡면을 생성한 모습이다.

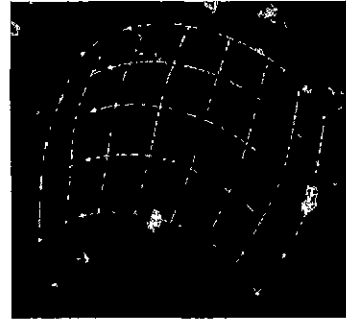


Fig. 5 Sweep Surface

위에서 생성한 Sweep 곡면을 호환성이 좋은 NURBS 곡면으로 근사표현하기 위하여 조종점의 수를 최적화하여 NURBS 곡면을 형성한다.

Fig. 6은 NURBS 곡면의 모습을 보여준다



Fig. 6 Nurbs Surface

위에서 형성된 NURBS 곡면을 처음의 측정점 데이터와 오차계산을 해보면 단면곡선이 3차, 조종점의 수가 9일경우의 양의 최대 오차는 1.27(mm)이고 음의 최대 오차는 -1.88(mm)이었다. Fig. 7에서 가운데의 진하게 나타난 부분이 음의 최대오차부분을 표시하고 오른쪽의 약간 진하게 나타난 부분이 양의 최대오차를 표시한다.



Fig. 7 Simulation of Deviation between NURBS and Sweep Surface

단면곡선이 3차, 조종점의 수가 10일경우의 양의 최대 오차는 1.480(mm)이고 음의 최대 오차는 -1.483(mm)이었다.

단면곡선이 3차, 조종점의 수가 11일경우의 양의 최대 오차는 1.280(mm)이고 음의 최대 오차는 -1.89(mm)였다

## 5. 결론

Sweep 곡면은 곡면에 관한 개념에서 곡면을 형성하기 쉽고 간단하며 이해가 쉽다. 그리고 이동규칙에 의하여 곡면의 다양한 형상을 경계곡선의 추가 없이 형성할 수 있는 장점이 있다 따라서 기존의 단면곡선에 의한 곡면의 형성방법에 비하면 입력해야 할 곡선 정보의 수가 대폭 감소된다 그러나 Sweep 곡면은 독특한 곡면 계산 방법을 사용하므로 호환성이 없고 수리적인 성질(metrical properties)을 구하기 어렵다 Sweep 곡면이 일반화되려면 호환성이 가능한 곡면으로 근사표현 되어야한다. 본 논문에서는 NURBS 곡면으로 sweep 곡면을 근사표현하기 위하여 최소자승법을 이용한 곡선 생성과 매개변수 최적화에 의한 NURBS 곡면생성과 생성된 NURBS 곡면과 측정점 데이터의 오차계산에 관한 연구를 하였다. NURBS 곡면과 측정점 데이터의 최대 오차는 양의 최대 오차 1.480(mm)이고 음의 최대 오차는 -1.483(mm)로 계산되었다.

앞으로는 위에서 계산된 오차를 감소시키기 위한 점데이터 처리와 단면곡선 생성에 이웃 곡면과의 접선연속이나 곡률 연속을 고려한 곡면 모델링에 대하여 연구되어야 할 것이다

## 후기

본 연구에 관심을 아끼지 않으셨던 이희관 박사님과 양균의 교수님께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Tamas Varady, Raph R Martin and Jordan Coxt, "Reverse engineering of geometric models-an introduction", Computer-Aided Design, Vol.29. No.4 pp.255-268, 1997
2. Wen-Der ueng, Jung-Yih Lai and Ji-Liang Doong, "Sweep-surface reconstruction from three-dimensional measured data", Computer-Aided Design, Vol.30 No 10 pp 791-805, 1998
3. Jiing-Yih Lai, Chiou-Yuan Lu, "Reverse Engineering of Composite Sculptured Surface". Advanced Manufacturing Technology, Vol. 12, pp. 180-189, 1996
4. B Sarkar and C-H Menq, "Smooth-surface approximation and reverse engineering", Computer-aided design Vol 23 No.9, 1991
5. David F. Rogers and J. Alan Adams, "Mathematical Elements for Computer Graphics", 2nd Ed. McGraw-Hill Book Co., 1990
6. ByongK. Choi, "Surface Modeling for CAD/CAM", ELSEVIER SCIENCE PUBLISHING COMPANY, INC., 1991
7. 이철수, "Sweep 곡면 모델링에 관한 연구", 한국과학기술원 산업공학과, 박사학위논문, 1990
8. 박형준, 김광수, "연속된 폐곡선을 B-spline 곡면으로 근사하기", 1996 한국 CAD/CAM 학회논문집, pp. 40-45, 1996
9. 우혁제, 석태훈, 류제현, 이관행, "역엔지니어링을 위한 측정 점데이터 처리에 관한 연구", '99 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회논문집, pp.24-29, 1999
10. 최재원, 허성민, 이석희, "측정점으로부터의 곡면 및 가공 데이터 생성에 관한 연구", 한국정밀공학회 '99년도 추계학술대회논문집, pp.357-360, 1999
11. 이석양, "3차원 측정기를 이용한 곡면의 단면 생성에 관한 연구", 석사학위논문, 1999