

# 가상 디자인을 위한 3 차원 목표곡선을 이용한 곡면 변형

이정인<sup>1</sup>, 채영호<sup>2</sup>  
중앙대학교 첨단영상대학원<sup>1,2</sup>  
dreamager@naver.com<sup>1</sup>, yhchai@cau.ac.kr<sup>2</sup>

## NURBS Surface Deformation with 3D Target Curve for Virtual Design

Jeong-In Lee<sup>1</sup>, Young-Ho Chai<sup>2</sup>  
The Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia and Film  
ChungAng University<sup>1,2</sup>

### 요약

컴퓨터 기술이 발전함에 따라 3 차원 입력시스템을 통한 모델링이 가능하게 되었다. 2 차원 시스템은 평면 입력을 공간상의 데이터로 바꾸기 위한 많은 기능과 메뉴들이 존재하지만 3 차원 시스템에서는 그러한 복잡한 기능 없이 입력 데이터가 곧바로 모델링에 적용될 수 있다. 하지만 아직까지 3 차원 입력시스템에서 모델링을 수행하는 디자이너에게 익숙한 스케치 방법을 고려하지 못하고 있는 실정이다.

디자이너에게 가장 익숙한 모델링 방법은 스케치북에 선으로 그림을 그리는 것이기 때문에, 모델을 변형하는 방법은 이를 벗어나지 않도록 해야 한다. 평면 스케치에서 디자이너가 그리는 선은 모델의 윤곽을 잡아주고 모델의 특징이 되는 부분을 표현하게 된다. 이러한 선의 입력을 통한 스케치를 3 차원 모델링에서 그대로 사용하기 위해서는 공간에서의 점이나 면이 아닌 선의 입력을 모델링에 적용할 수 있어야 한다.

Keyword : Surface Deformations, 3D Sketching, 3D User Interface, Virtual Environments, Virtual Design

### 1. 서론

컴퓨터를 이용한 3 차원 모델링이 개발된 이후로 입출력 장치는 마우스와 키보드 등 평면 입출력에 머무르지 않고 더욱 발전되어 왔다. 발전된 형태의 2D 입력 도구로서 타블렛(Tablet)이나 3D 마우스 등이 개발되었지만 타블렛은 2 차원 평면이라는 제한이 있었고 3D 마우스는 조작이 어렵다는 단점이 있었다. 하지만 이제는 컴퓨터의 성능이 향상됨에 따라 3 차원 가상공간에서 직접 입출력을 할 수 있는 시스템이 개발되었다.

2 차원 평면 입출력 시스템을 이용해 3 차원 모델링을 할 경우 입력된 데이터를 3 차원 데이터로 변환하기 위해서는 복잡한 기능과 메뉴들이 필요했다. 하지만 3 차원 공간 입력 인터페이스[1]를 이용할 경우 복잡한 기능과 메뉴가 없어도 입력된 데이터는 직접 3 차원 모델링에 적용될 수 있다.

하지만, 지금까지 개발된 3 차원 입력 시스템을 이용한 컴퓨터 그래픽 툴[2][3][4]에서는 디자이너가 평면에서 모델을 디자인 하던 습관을 그대로 반영하지 못하고 있다.

일반적으로 평면 스케치에서 디자이너가 자신의 생각을 표현하는 작업 방식은 선(Curve)을 이용해 사물의 윤곽과 채질, 특징 등을 표현하는 것이다. 디자이너는 이러한 작업 방식을 오랜 기간 동안 사용해 왔기 때문에 자신의 생각을 표현하는 가장 효율적인 방법인 셈이다.

지금까지 개발된 3 차원 입력 시스템을 이용한 모델링 툴에서는 이러한 디자이너의 드로잉(Drawing) 습관에 대한 이해가 부족했다. 이것은 그래픽 디자이너가 자신의 생각을 표현하는 방법을 습득하는 훈련과정 이외에 그래픽 툴의 사용법에 대한 지식을 습득하는 과정이 필요함을 의미한다. 이러한 과정은 디자이너의 표현능력을 감소시

키는 원인이 되기도 한다. 이러한 이유로 3 차원 입력 시스템을 이용한 그래픽 툴은 그래픽 디자이너에게 아직까지 쉽게 접근할 수 없는 분야가 되어 있다.

3 차원 입력시스템을 이용한 그래픽 툴 분야에서 이러한 디자이너의 드로잉 습관 등이 제대로 반영된다면 디자이너의 아이디어가 3 차원 모델로 만들어 지는 일련의 작업과정은 더욱 효율적으로 단축될 것으로 기대된다. 또한, 평면에 머물러 있던 디자이너의 표현능력이 3 차원 입력 시스템으로 인해 혁신적으로 확장될지도 모른다. 이러한 디자이너의 표현능력을 극대화하기 위해서는 디자이너의 드로잉 습관을 반영한 새로운 형태의 곡면 변형 알고리즘이 필요하다.

3D 모델을 변형하는 알고리즘은 크게 두가지 방법이 있다. 첫째는 Sederberg & Parry의 입체모형에서의 자유형태 변형[5]과 같이 모델을 포함하는 격자를 통하여 모델을 변형하는 간접 변형 방법이 있고, 다른 하나는 Hsu, Hughes & Kaufman의 자유형태 변형에서의 직접조작[6] 과 같이 모델을 직접 변형하는 방법이 있다.

하지만 자유형태 변형과 같은 간접 변형은 격자의 변형에 따라 모델이 변형되는 것이기 때문에 정밀한 변형이 어렵고 사용자에게 직관적이지 못한 변형이 이루어 지는 단점이 있다.

반면에 자유형태 변형에서의 직접조작과 같은 직접 변형은 사용자가 직관적으로 모델을 변형할 수 있지만 원하는 형태로 모델을 변형하기 위해서는 사용법을 익히는데 많은 시간과 비용이 소요되고 여러 번의 시행착오를 거쳐야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 디자이너의 평면에서의 드로잉 스킬을 그대로 이용하여 3 차원 공간입력 인터페이스에서 모델을 변형하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

## 2. 목표곡선을 이용한 곡면변형 알고리즘

### 2-1. 곡면 변형을 위한 의사역행렬

NURBS 곡면[7]은 제어점(control point)과 노벡터(knot vector)로 구성되어 있다. 각각의 제어점은

3 차원의 좌표를 가지며  $u, v$  두 방향으로 배열된다. 노벡터는  $u, v$  방향에 각각 한 개씩 정의된다. 식 1은  $u, v$  방향의 제어점이 각각  $n, m$  개인 곡면을 정의하는 식이다.

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j} \quad (1)$$

본 연구에서는 곡선 입력을 통한 NURBS 곡면의 변형을 위해 다수의 점을 이용한 의사역행렬을 사용한다.

$y = Bx$  로 표현되는 선형방정식에서 의사역행렬  $B^+$ 는  $x_0 = B^+y$  를 만족하는 행렬이다.  $B$ 는 행렬일 때,  $B = CD$ 인 행렬  $B, C, D$ 에서 각 행렬의 계수는  $k$  이고  $C$ 는  $m \times k, D$ 는  $k \times n$  행렬이다. 이 때,  $B$ 의 의사역행렬  $B^+$ 의 일반식은 식 2와 같다.

$$B^+ = C^T (CC^T)^{-1} (D^T D)^{-1} D^T \quad (2)$$

### 2-2. 목표곡선을 이용한 곡면 변형

곡면 변형은 다음과 같은 순서로 진행된다. 변형할 곡면을 선택하면 그 곡면으로부터 표본 정점정보를 추출한다. 이 정점정보는 의사역행렬에서 변형값을 갖는 표본곡면으로 사용된다. 표본 정점정보 추출에 쓰이는 매개변수  $u, v$  값을 이용해 의사역행렬에 사용될 기저함수를 계산한다.

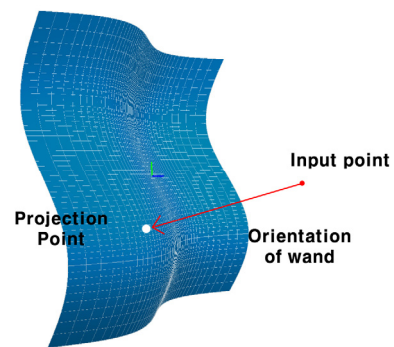


그림 1. 목표점의 곡면투영

3 차원 입력시스템으로부터 곡선입력을 받는다. 위치와 방향 정보를 입력하는 완드를 통해 곡선을 입력한다. 완드를 통해 입력된 곡선은 위치와 방향을 갖는 정점들의 배열로 이루어 진다. 입

력된 곡선은 그림 1 과 같이 각 정점의 방향을 이용해 곡면에 투영하고 투영된 지점을 기점이라 한다.

곡면에 투영된 곡선의 기점은 표본곡면과 연결되게 된다. 기점을 중심으로 그림 2 와 같이 변형 영역을 정의하고 변형 영역 내부의 표본 정점과 연결된다. 변형 영역 내부의 표본 정점은 반드시 가장 가까운 하나의 기점과 연결된다.

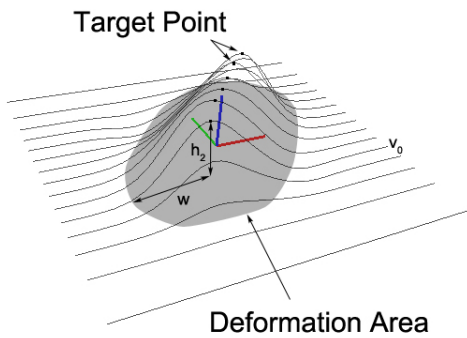


그림 2. 기점과 변형영역

기점과 연결된 표본정점은 해당 기점으로부터 입력된 곡선의 위치까지를 변형값으로 갖고 변형 영역에 내부의 다른 표본정점은 적절한 변형을 위해 보간한 뒤 의사역행렬로 변형값을 넘긴다.

기점과 연결된 표본정점은 해당 기점으로부터 입력된 곡선의 위치까지를 변형값으로 갖고 변형 영역에 내부의 다른 표본정점은 적절한 변형을 위해 보간한 뒤 의사역행렬로 변형값을 넘긴다.

보간된 표본 정점정보의 변형값과 기저함수의 의사역행렬을 이용해 곡면 제어점의 변화량을 구한다. 제어점의 변화량을 곡면에 적용하면 곡면의 변형을 구할 수 있다.

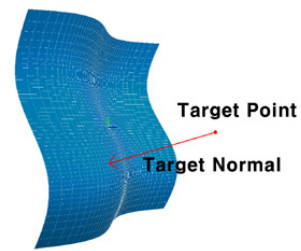
### 2-3. 목표점의 위치와 방향을 이용한 기점 찾기 알고리즘

3 차원 입력 시스템에서 완드를 이용해 목표점과 방향을 입력하면 다음과 같은 알고리즘을 이용해 곡면에서 변형이 될 지점인 기점을 찾는다.

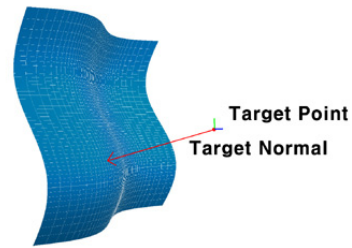
우선 한 개의 목표점만 생각해보자(그림 3.a). 한 개의 목표점과 곡면이 있을 때 목표점을 전체 좌표의 원점으로 이동하는 변환행렬과 목표점의

방향을 z 축의 음의 방향으로 회전하는 변환행렬을 이용해서 목표점과 곡면의 위치를 같이 변환한다(그림 3.b).

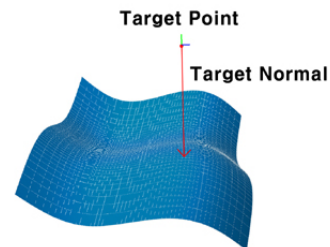
만약 목표점의 위치에서 목표점의 방향으로 진행했을 때에 곡면 위를 지난다면 변환을 수행한 후에 곡면위의 적어도 한 점은 (x, y)값이 (0, 0)을 지난다. 이 때 (0, 0)을 지나는 곡면 위의 점의 u, v 값을 그 목표점에 해당하는 기점의 u, v 값으로 한다(그림 3.c).



(a) 목표점의 위치와 방향



(b) 목표점을 원점으로 이동



(c) 목표점의 방향을 Z 축으로 회전

그림 3. 기점 찾기 알고리즘

### 2-4. 변형 영역 보간

변형 영역 내부는 다음과 같은 조건에 따라 보간을 한다. 첫째, 의사역행렬 계산에 적합해야 한다. 둘째, 곡면의 연속성을 유지해야 한다.

위와 같은 조건을 만족시킬 수 있는 보간으로서 본 연구에서 택한 보간 방법은 다항식 보간이다. 곡면의 차수와 같거나 곡면의 차수보다 높은 차수의 다항식으로 표본 곡면을 보간할 경우 곡면의 연속성을 유지하면서 의사역행렬의 계산 결과가 발산하지 않고 적절한 결과값을 얻을 수 있다.

3 차 NURBS 곡면의 변형을 위해 사용된 3 차 다항식 보간은 다음과 같다.

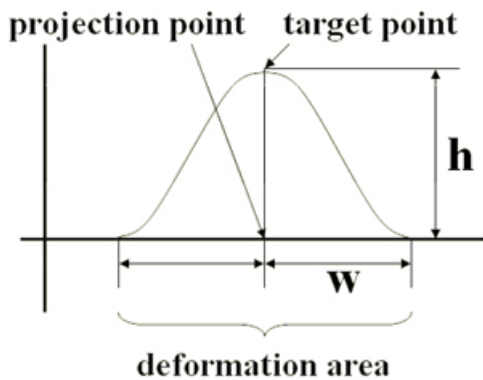


그림 4. 변형 영역 내부 보간

기점에서 목표점까지의 거리를  $h$  라고 하고 변형 영역의 반지름을  $w$  라고 할 때, 변형 영역 내부를 보간하는 방법은 그림 4 와 같다.

위의 보간은 3 차 다항식을 이용한 보간이다. 변형 영역을 보간하기 위한 3 차 다항식과 연속성을 유지하기 위한 미분식은 식 3, 4 와 같이 쓸 수 있다.

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (3)$$

$$y = 3ax^2 + 2bx + c \quad (4)$$

보간 영역의 최외각의 변화량을 0 으로 하고 기점의 변화량을 기점에 연결된 목표점까지의 거리라고 할 때 식 5, 6 과 같이 쓸 수 있다.

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = h_1 \quad (5)$$

$$a(x_1-w)^3 + b(x_1-w)^2 + c(x_1-w) + d = 0 \quad (6)$$

또한 변형된 곡면의 연속성을 유지하기 위해 변형영역의 최외각과 기점에서의 미분값을 0 으로 하면 식 7, 8 과 같이 쓸 수 있다.

$$3ax_1^2 + 2bx_1 + c = 0 \quad (7)$$

$$3a(x_1-w)^2 + 2b(x_1-w) + c = 0 \quad (8)$$

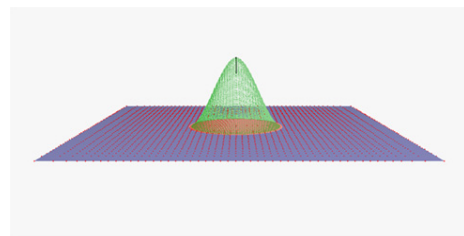
표본 정점의  $u, v$  값을 위 식의  $x$  라 하고 따른

정점의 변형좌표의  $x, y, z$  에 대해서 각각 따로 계산해서 위 식의  $y$  라 한다.  $x$  값에 따른  $y$  값의 변화량을 구하기 위해 위 식에서  $a, b, c, d$  의 값을 구하면 식 9 와 같다.

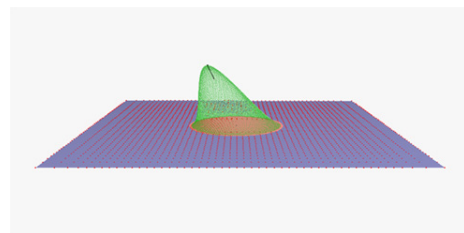
$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^3 & x_1^2 & x_1 & 1 \\ 3x_1^2 & 2x_1 & 1 & 0 \\ (x_1-w)^3 & (x_1-w)^2 & x_1-w & 1 \\ 3(x_1-w)^2 & 2(x_1-w) & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} h \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{2h}{(x_1-w)^3 - 3(x_1-w)^2x_1 + 3(x_1-w)x_1^2 - x_1^3 - 3h((x_1-w) + x_1)} \\ \frac{(x_1-w)^3 - 3(x_1-w)^2x_1 + 3(x_1-w)x_1^2 - x_1^3}{6h(x_1-w)x_1} \\ \frac{(x_1-w)^3 - 3(x_1-w)^2x_1 + 3(x_1-w)x_1^2 - x_1^3}{h((x_1-w) - 3x_1)(x_1-w)^2} \\ \frac{(x_1-w)^3 - 3(x_1-w)^2x_1 + 3(x_1-w)x_1^2 - x_1^3}{(x_1-w)^3 - 3(x_1-w)^2x_1 + 3(x_1-w)x_1^2 - x_1^3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

기점으로부터의 변형값  $x, y, z$  를 각각 위의 식에 의해 보간하여 변형영역 내의 모든 표본정점의 변형값을 계산한다.



(a) 수직방향 목표점의 표본곡면 보간



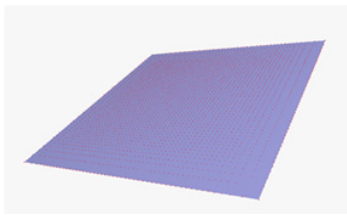
(b) 임의의 방향 목표점의 표본곡면 보간

그림 5. 보간된 표본곡면

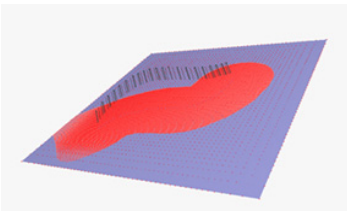
모든 표본 정점은 각각  $x, y, z$  좌표에 대해서 따로 보간을 하기 때문에 기점으로부터 입력된 목표점의 위치와 방향에 상관없이 변형이 가능하다. 그림 5 는 목표점의 위치와 방향에 따른 표본정점의 변형값 보간을 보여주고 있다.

## 2-5. 알고리즘 구현 결과 및 비교

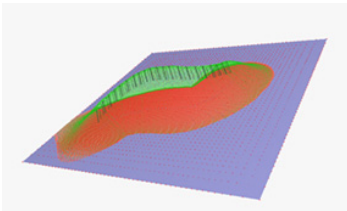
그림 6 은 곡선입력을 이용한 평면변형의 예를 보여주고 있다. 먼저 입력된 곡선의 각 목표점을 곡면에 투영하고 투영된 기점을 중심으로 가까운 표본 정점을 연결한다. 표본 정점들은 연결된 기점에서 목표점까지의 변화량에 따라 보간된 뒤에 의사역행렬을 통해 곡면을 보간하게 된다.



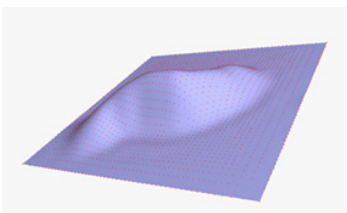
(a) 변형 전



(b) 곡선 입력



(c) 표본곡면 보간



(d) 곡면 변형

그림 6. 곡선 입력을 이용한 변형

그림 7, 8 은 변형영역의 변화에 따른 변형을 보여주는 그림이다. 입력된 목표곡선이 같더라도 변형영역에 따라 변형은 다르게 수행된다. 변형영역이 좁을 경우 곡면에서 변형되는 구간도 작아지고 변형은 날카로워 지지만, 변형영역이 넓을 경

우 변형되는 구간도 넓어지고 변형은 매끄럽게 적용된다.

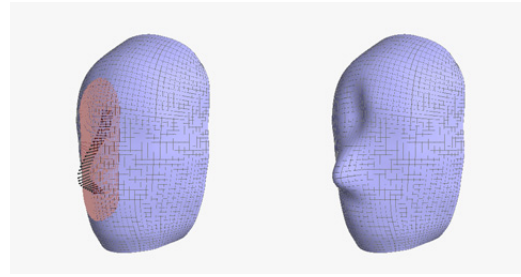


그림 7. 좁은 변형영역을 이용한 변형

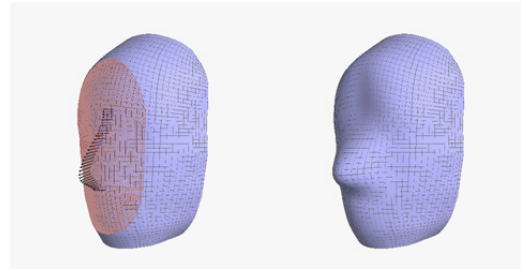
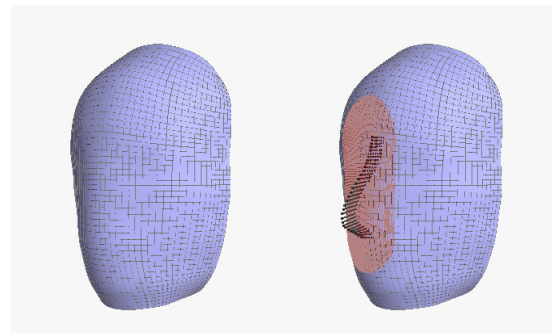


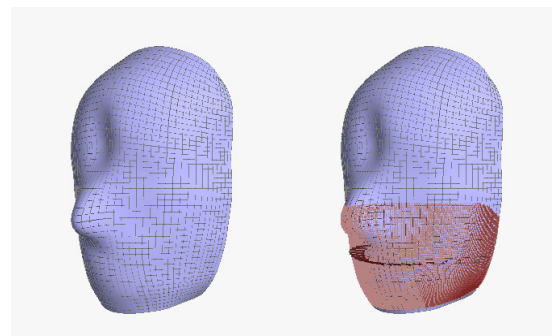
그림 8. 넓은 변형영역을 이용한 변형

그림 9 는 제시한 알고리즘을 통해 얼굴형태를 모델링한 예시이다. 그림 9.a 의 기본적인 형태에서 그림 9.b, d, f, h 의 4 번의 곡선 입력을 통해 그림 9.i, j 에서와 같은 얼굴형태의 모델을 완성하는 그림을 보여주고 있다.



(a)

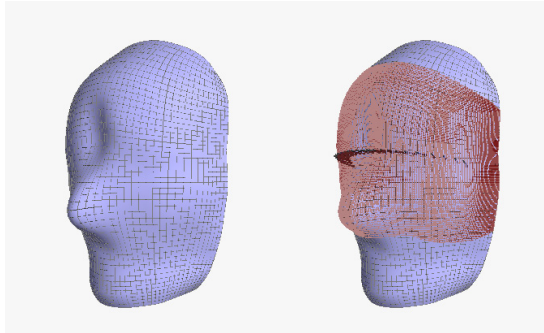
(b)



(c)

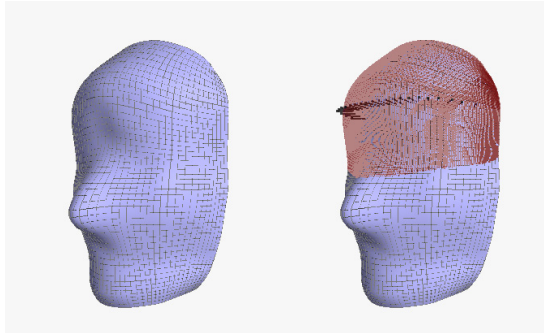
(d)





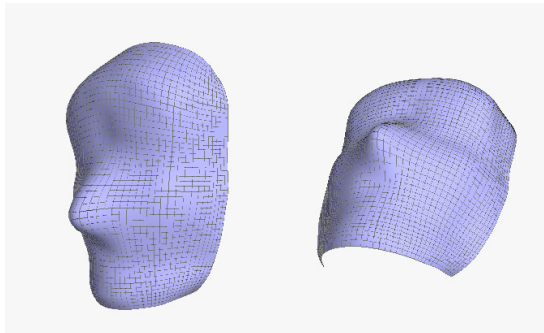
(e)

(f)



(g)

(h)



(i)

(j)

그림 9. 얼굴 모델링

### 3. 결론

제안된 알고리즘은 NURBS 곡면 기저함수의 의사역행렬을 통해 직접 곡면을 변형할 수 있도록 구현되었고, 변형된 곡면은 추가적인 정보 없이 기존의 곡면과 동일하게 이후의 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 디자이너가 평면에서 익힌 드로잉 기술을 3 차원 공간에서도 그대로 사용할 수 있도록 고안되어서 3 차원 모델링에서 디자이너의 드로잉 기술을 극대화 할 수 있다. 하지만, 곡면에서 추출하는 표본점의 수에 따라서 계산 시간이 늘어나게 되므로 실시간 모델링을 위해서는 많은 부하가 걸리지 않도록 표본점의 수를 조절하는 것이 필요하다.

추후 연구에서는 노트 벡터(Knot vector)나 가중

치(Weight)의 변화를 통해 다양한 변형을 표현할 수 있도록 해야 할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2005 년 정부(교육인적자원부)의 대학 특성화 지원 사업의 재원으로 수행된 연구임.

### 참고문헌

- [1] 유충렬, “3 차원 디지털 아트를 위한 몰입형 가상환경 시스템 개발”, 석사 학위 논문, 중앙대학교, 첨단영상대학원, 14-40, 2003.
- [2] Wesche, G., Seidel, H, FreeDrawer-A Free-Form Sketching System on the Responsive Workbench. Proceedings of VRST 2001, Banff, Alberta, Canada, 167-174, 2001.
- [3] Schkolne, S., Pruett, M., & Schroder, P, Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools. Proceedings of SIGCHI 2001, ACM Press Seattle, WA, USA, 261-268, 2001.
- [4] Fiorenino, M., Amicis, R., Monno, G., & Strok, A, Spacedesign: A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design. IEEE and ACM International symposium on Mixed and Augmented Reality, Darmstadt, Germany, 86-138, 2002.
- [5] Sederberg, T. S., Parry, S. R., Free-Form Deformation of Solid Geometric Models, Proceedings of SIGGRAPH '86, Computer Graphics, 20(4), 151-160, 1986.
- [6] Hsu, W. M., Hughes, J. F., & Kaufman, H., Direct Manipulation of Free-Form Deformations, Proceedings of SIGGRAPH '92, Computer Graphics, 26(2), 177-184, 1992.
- [7] Les Piegl, Wayne Tiller, The NURBS Book(Second Edition), Springer, 1997.