

프리미티브 수정을 이용한 직관적 메쉬 에디팅 방법

양진석, 오경수
송실대학교 미디어학과
e-mail : {ispio, oks}@ssu.ac.kr

Intuitive Mesh Editing Method using Modifying Primitives

Jinsuk Yang, Kyoungsu Oh
Department of Media, Soongsil University

요약

최근 3D 스캔 장비 발전과 함께 물체를 스캔하여 모델링하는 역설계 기술이 발전하고 있다. 하지만 역설계를 통해 만들어진 메쉬는 3D 스캔 장비의 데이터 누락, 측정 에러와 같은 이유 때문에 무딘 모서리, 거친 표면과 같은 에러가 발생한다. 이러한 에러를 제거하기 위해 다양한 메쉬 에디팅 방법이 연구되고 있다. 대부분의 기존 방법은 특정 영역을 세밀하게 에디팅 하기 때문에 사용자 에디팅 능력에 따라 메쉬 품질이 달라지고, 에디팅 시간도 오래 걸린다. 본 논문은 프리미티브 수정을 이용한 새로운 메쉬 에디팅 방법을 제안한다. 먼저 원본 메쉬를 모양에 따라 여러 개의 메쉬 세그먼트로 나눈다. 그런 다음 각 메쉬 세그먼트에 프리미티브 타입을 지정하고 해당 파라미터를 수정하여 사용자가 원하는 모양으로 에디팅 한다. 제안한 방법은 프리미티브 수정 기반의 직관적 사용자 인터페이스를 지원하며 빠른 시간 안에 사용자가 의도한대로 에디팅 할 수 있다.

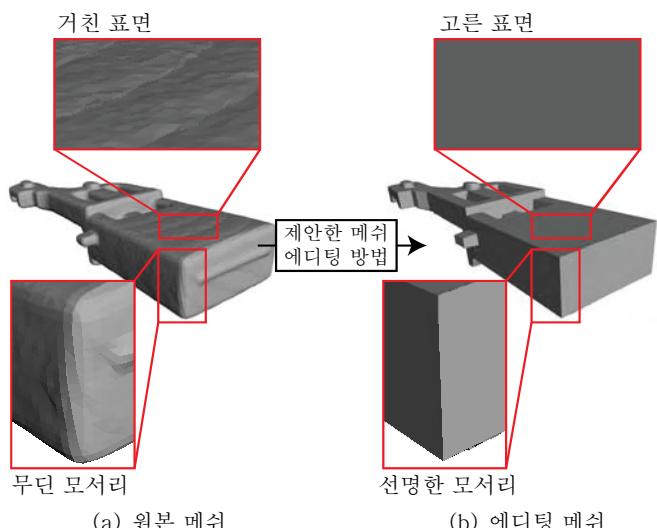
1. 서론

최근 레이저 스캐너나 CT(Computed Tomography) 스캐너와 같은 3D 스캔 장비의 발전과 함께 기계 부품과 같은 물체를 사람이 직접 모델링 하지 않고 스캔하여 모델링하는 역설계(reverse engineering) 기술이 발전하고 있다[1]. 역설계를 통해 획득한 데이터는 주로 삼각 메쉬¹를 통해 표현하며, 삼각 메쉬는 물체의 복잡하고 세밀한 부분을 쉽고 빠르게 가시화 할 수 있는 모델링 방법이다. 하지만 3D 스캔 장비로부터 획득한 데이터는 데이터 누락, 측정 에러, 노이즈 발생, 낮은 해상도와 같은 문제가 있으며 필요 이상의 거대한 데이터로 인해 속도 저하를 야기한다. 따라서 역설계를 이용해 만든 메쉬는 무딘 모서리, 거친 표면과 같은 다양한 에러가 발생한다[2].

메쉬의 에러를 제거하기 위해서는 정점 수정[3], 표면 스무딩(surface smoothing)[4]과 같은 메쉬 에디팅이 필수다. 정점 수정을 위해서는 정점을 직접 선택하여 이동하거나 제어 점(control points)을 이용해 메쉬 모양을 변형하는 방법이 있다. 전자의 방법은 사용자 요구대로 정확하게 에디팅 할 수 있는 반면 시간이 많이 소요된다. 후자의 방법은 상대적으로 시간이 적게 걸리지만 사용자 요구대로 정확하게 에디팅하기 어렵다. 표면 스무딩은 선택한 정점을 주변 정점들과의 차이만큼 반복적으로 이동 시킨다. 이 방법은 빠르고 간단하지만 경우에 따라 심각한 모양 변화가 일어난다. 이와 같이 기존의 메쉬 에디팅 방법들은 사용자가 특정 영역을 세밀하게 에디팅하는 방식이기 때문에

에 사용자의 에디팅 능력에 따라 메쉬 품질이 달라지고 에디팅 시간도 많이 소요된다.

본 논문은 프리미티브 수정을 이용한 새로운 메쉬 에디팅 방법을 제안한다. 사용자는 프리미티브 수정을 지원하는 직관적 인터페이스를 통해 메쉬를 원하는 모양으로 쉽게 에디팅 할 수 있으며 빠른 에디팅 또한 가능하다. 그림 1은 제안한 방법의 결과이며, 핵심 사항은 다음과 같다.



(그림 1) 원본 메쉬와 에디팅 메쉬 비교: (a) 3D 스캔 데이터로부터 추출한 원본 메쉬에는 거친 표면, 무딘 모서리와 같은 에러가 있다. (b) 제안한 방법을 통해 원본 메쉬에 있는 에러를 제거했다.

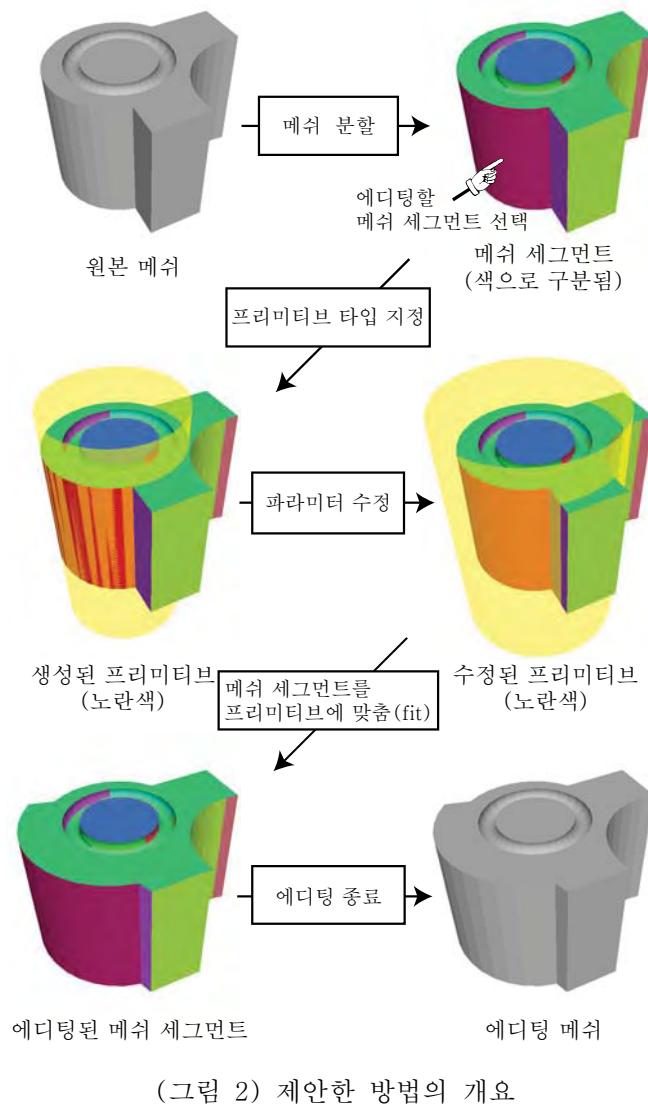
¹ 각 정점을 연결하여 이루어진 삼각형을 메쉬 모양으로 구성함

- **메쉬 단위 에디팅** 사용자는 원본 메쉬를 여러 개의 메쉬 세그먼트로 나눈 후 메쉬 세그먼트 단위로 에디팅한다. 메쉬 세그먼트 단위 에디팅은 점 단위 에디팅 보다 빠르고 간단하다.
- **직관적 사용자 인터페이스 지원** 사용자는 메쉬 세그먼트에 원하는 프리미티브 타입을 지정하고 프리미티브의 파라미터를 수정하여 에디팅한다. 이것은 메쉬 세그먼트 단위의 직관적인 에디팅을 가능하게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 프리미티브 수정을 이용한 메쉬 에디팅 방법을 설명한다. 3 장에서는 실험 결과를 보여주며, 마지막 4 장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

2. 프리미티브 수정을 이용한 메쉬 에디팅 방법

이번 장에서는 프리미티브 수정을 이용한 메쉬 에디팅 방법을 설명한다. 제안한 방법은 메쉬를 분할하는 단계(2.1 절)와 메쉬 세그먼트 단위로 에디팅하는 단계(2.2 절)로 나뉘며, 이 과정의 개요는 그림 2 와 같다.

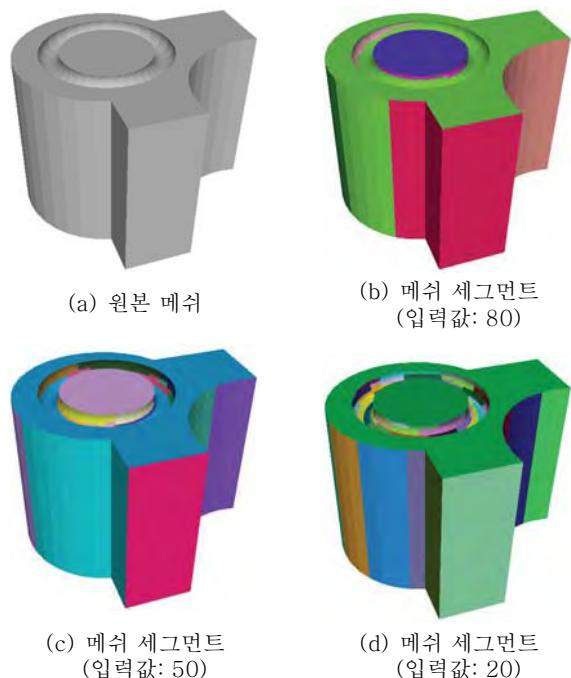


먼저 사용자는 원본 메쉬를 여러 개의 메쉬 세그먼트로 자동 분할한다. 원하는 모양으로 분할되지 않은 메쉬 세그먼트는 사용자에 의해 수동으로 합쳐지거나 나눌 수 있다. 그런 다음 에디팅하기 원하는 메쉬 세그먼트를 선택하고 그 모양에 맞는 프리미티브 타입을 지정한다. 메쉬 세그먼트와 프리미티브 타입으로부터 2 차 곡면(quadric surface)을 추정한 후 프리미티브의 주요 파라미터를 계산한다. 사용자는 파라미터를 수정하여 원하는 모양으로 에디팅할 수 있다.

2.1 메쉬 분할

우리는 메쉬 세그먼트 단위의 에디팅을 위해 원본 메쉬를 자동 또는 수동으로 분할하여 메쉬 세그먼트를 만든다. 메쉬 세그먼트란 하나의 메쉬를 여러 개의 부분으로 나눈 메쉬 조각이며, 그럼 3 과 같이 각각 다른 색으로 표시되기 때문에 서로 구분 된다.

먼저 메쉬 자동 분할에 대해 설명한다. 이 과정에서 사용자는 값을 입력한 후 ‘메쉬 자동 분할’ 메뉴를 선택한다. 이 때 입력값은 메쉬를 얼마나 잘게 나눌 것인가에 대한 임계값(threshold)이며 이웃한 두 면의 법선 벡터(normal vector) 각도 차이를 의미한다. 예를 들어 이웃한 두 면의 법선 벡터 각도 차이가 입력값보다 작으면 두 면은 같은 메쉬 세그먼트로 분류된다. 반대의 경우에는 다른 메쉬 세그먼트로 분류된다. 이 과정은 플러드 페일(flood-fill) 알고리즘[5]처럼 하나의 면에서 시작해 이웃한 면으로 반복 수행된다. 그림 3 은 메쉬 자동 분할 결과이며 입력값이 작으면 작을수록 메쉬가 더 잘게 나누어지는 것을 볼 수 있다.



(그림 3) 입력값에 따른 메쉬 자동 분할 결과: 입력값은 메쉬 분할을 결정하는 임계값이며, 두 면 사이의 법선 벡터 각도 차이를 의미한다. 입력값이 작을수록 메쉬는 더 잘게 나누어진다.

메쉬 자동 분할에 의해 생성된 메쉬 세그먼트는 너무 잘게 나눠졌거나 모양이 제대로 반영되지 않아 사용자가 원하지 않는 결과일 수 있다. 이것은 그림 4와 같이 메쉬 수동 분할에 의해 개선 될 수 있다. 메쉬 수동 분할은 메쉬 세그먼트 합치기와 메쉬 세그먼트 나누기로 구성된다. 메쉬 세그먼트 합치기는 여러 개의 메쉬 세그먼트를 하나로 합치는 기능이다. 사용자가 여러 개의 메쉬 세그먼트를 선택한 후 ‘메쉬 세그먼트 합치기’ 메뉴를 실행하면 선택된 메쉬 세그먼트는 하나의 메쉬 세그먼트로 합쳐진다. 반대로 메쉬 세그먼트 나누기는 하나의 메쉬 세그먼트를 여러 개의 메쉬 세그먼트로 나누는 기능이다. 사용자가 ‘메쉬 세그먼트 나누기’ 메뉴를 실행한 후 나누고 싶은 부분에 직선을 그으면 직선을 기준으로 메쉬 세그먼트가 나뉘어진다.

2.2 프리미티브를 이용한 메쉬 에디팅

이번 절에서는 프리미티브를 이용한 메쉬 에디팅 방법을 설명한다. 이 과정은 메쉬 세그먼트 단위로 진행되며, 그림 5와 같이 메쉬 세그먼트에 프리미티브 타입을 지정하고 파라미터를 수정하여 빠르고 직관적인 에디팅을 가능하게 한다.

먼저 사용자는 에디팅 하고 싶은 메쉬 세그먼트를 선택한 후 메쉬 세그먼트 모양과 가장 비슷한 프리미티브 타입(e.g., plane, sphere, cylinder, cone...)을 선택한다. 예를 들어 선택한 메쉬 세그먼트의 모양이 평면과 비슷하면 평면 프리미티브를 선택하고, 원기둥과 비슷하면 원기둥 프리미티브를 선택한다. 우리는 메쉬 세그먼트와 프리미티브 타입으로부터 2차 곡면을 추정하기 위해 [6]의 방법을 사용한다. 그런 다음 추정된 2차 곡면을 이용해 프리미티브의 주요 파라미터를 계산한다. 이 때 프리미티브 타입 별로 계산하는 파라미터 종류는 각각 다르다. 예를 들어 원기둥의 주요 파라미터는 반지름이며, 기본적인 원기둥식은 (1)과 같다.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (1)$$

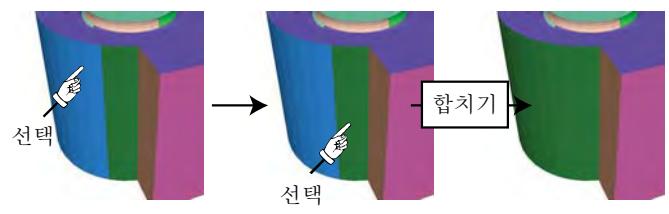
만약 선택한 프리미티브가 원형 원기둥(circular cylinder)이라고 가정하면 식 (1)은 식 (2)로 측약될 수 있고, 원기둥 반지름은 a^2 으로 계산할 수 있다.

$$x^2 + y^2 = a^2. \quad (2)$$

계산된 원기둥 반지름은 사용자에게 보여지며, 사용자는 원하는 반지름을 입력하여 프리미티브를 수정할 수 있다. 마지막으로 수정된 프리미티브에 메쉬 세그먼트를 맞추면(fit) 사용자가 원하는 모양의 메쉬 세그먼트가 된다.

3. 실험 결과

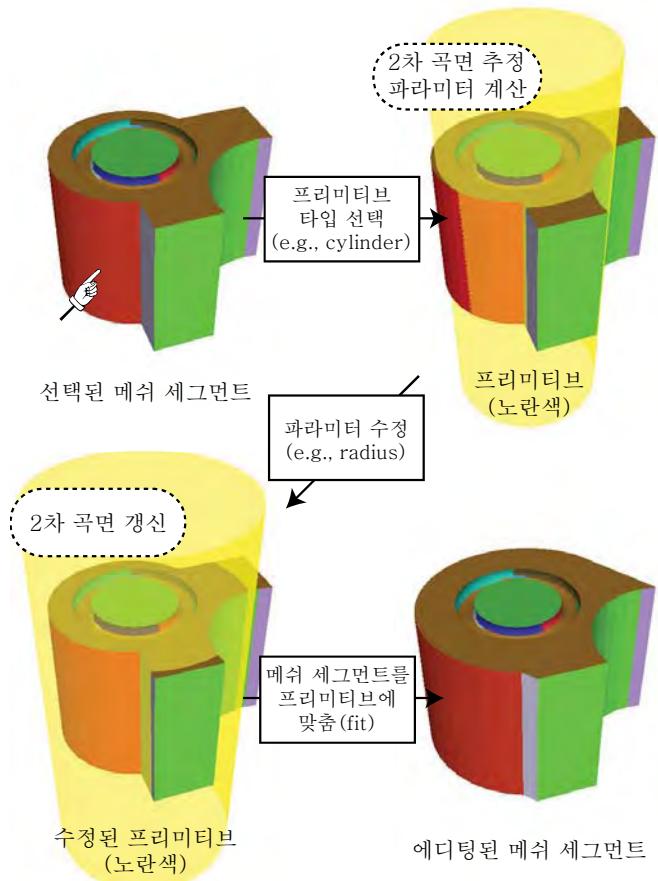
우리는 에디팅 메쉬의 품질을 평가하기 위해 원본 메쉬와 에디팅 메쉬를 각각 CAD(Computer Aided Design) 모델과 비교하여 메쉬 정확도를 측정했다. 원본 메쉬는 다이캐스팅 방식으로 제작된 경금속 기계 부품을 3D CT로 촬영한 후 마칭 큐브(marching cubes)



(a) 메쉬 세그먼트 합치기

(b) 메쉬 세그먼트 나누기

(그림 4) 메쉬 수동 분할 과정: (a) 여러 개의 메쉬 세그먼트를 선택한 후 합치기 메뉴를 실행하면 하나의 세그먼트로 합쳐진다. (b) 메쉬 세그먼트를 선택하고 나누기 메뉴를 실행한 후 나누고 싶은 부분에 직선(빨간선)을 그으면 직선을 기준으로 메쉬 세그먼트가 나뉘진다.



(그림 5) 프리미티브 수정을 이용한 메쉬 에디팅 과정

[7] 방법으로 생성한 것이다. 에디팅 메쉬는 원본 메쉬를 1 시간 30 분 동안 에디팅 한 결과이며, CAD 모델은 기계부품의 실제 도면을 참고해 CAD 소프트웨어에서 사전 제작되었다(그림 6).

메쉬 정확도 측정 방법은 다음과 같다. 원본 메쉬와 에디팅 메쉬 표면에 각각 샘플 100 만개를 균일하게 생성하고, 각 샘플마다 CAD 모델까지의 최단 거리를 구한다. 메쉬 정확도는 식 (3)으로 계산된다.

$$\text{메쉬 정확도}(\%) = \frac{(\text{전체샘플수} - \text{에러샘플수})}{\text{전체샘플수}} \times 100 .(3)$$

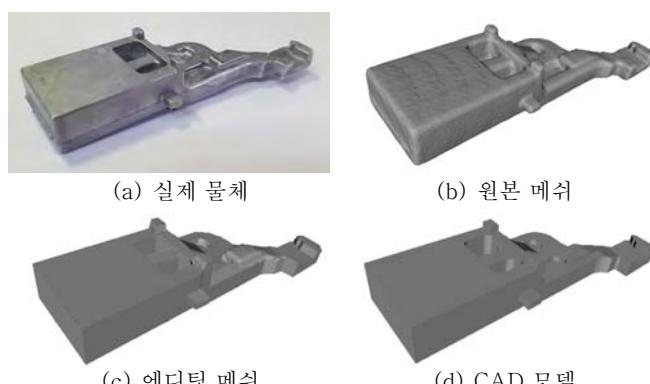
이 때 에러 샘플은 CAD 모델까지의 최단 거리가 오차 허용치 이상인 샘플이며, 오차 허용치는 한국산업규격[8]을 따른다.

그림 7 은 메쉬 정확도 결과이다. 오차 허용치는 0.42mm 로 설정했으며 (a)는 원본 메쉬의 정확도, (b)는 에디팅 메쉬의 정확도이다. (a)의 경우엔 평균 거리 0.43mm, 정확도 54.3%로 약 절반가량의 샘플이 CAD 모델과 차이가 있었다. 반면 (b)의 경우엔 평균 거리 0.21mm, 정확도 81.4%로 (a)에 비해 정확도가 27.1% 증가했다.

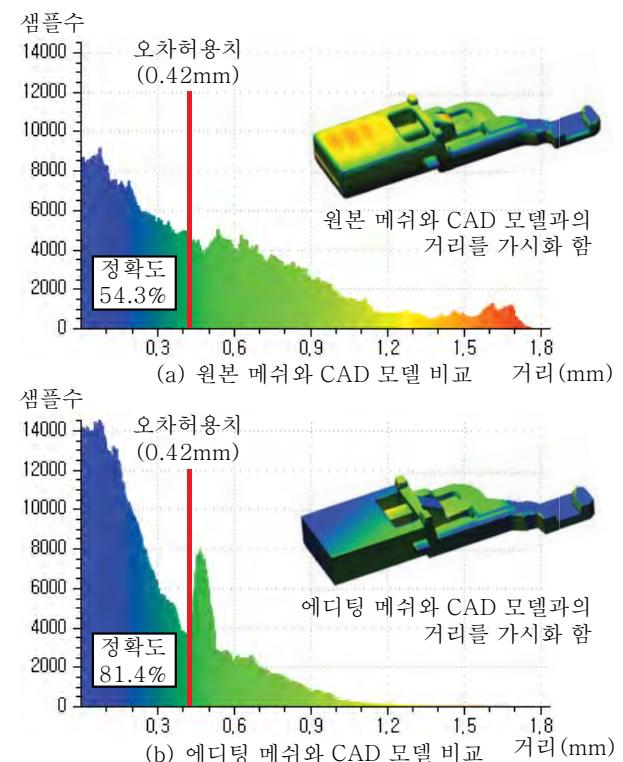
4. 결론

본 논문은 프리미티브 수정을 이용한 새로운 메쉬 에디팅 방법을 제안했다. 먼저 사용자는 메쉬 자동 분할을 통해 원본 메쉬를 여러 개의 메쉬 세그먼트로 나눈다. 메쉬 자동 분할 결과는 메쉬 수동 분할을 통해 개선될 수 있다. 그런 다음 메쉬 세그먼트 별로 프리미티브 타입을 지정하고 파라미터를 수정하여 사용자가 원하는 모양으로 에디팅 한다.

제안한 방법은 메쉬 세그먼트 단위로 에디팅하기 때문에 점 단위 에디팅 보다 빠른 에디팅이 가능하며, 프리미티브의 파라미터를 수정하는 직관적 에디팅 방식을 지원한다. 실험 결과는 원본 메쉬를 CAD 모델 대비 얼마나 정확하게 에디팅 할 수 있는지를 보여줬다. 비록 제안한 방법이 세밀하게 편집할 수 있는 기능은 부족하지만 기존 방법들과 합쳐진다면 더 강력하고 사용자 친화적인 메쉬 에디터로 발전할 것이다.



(그림 6) 실험 데이터: (a) 다이캐스팅² 방식으로 제작된 경금속 기계 부품($90 \times 25 \times 12$ mm). (b) (a)를 3D CT로 스캔한 후 생성한 메쉬. (c) (b)를 제안한 방법으로 에디팅한 메쉬. (d) (a)의 실제 도면을 참고해 CAD 소프트웨어에서 제작한 CAD 모델.



(그림 7) 메쉬 정확도 결과: 에디팅 메쉬는 원본 메쉬에 비해 27.1% 높은 정확도를 보이며, CAD 모델과의 거리가 1mm 이상 차이 나는 샘플이 거의 없다.

Acknowledgments

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 10047039, 다양한 각도의 2 차원 X-ray 영상과 3 차원 CT 영상 기반 실시간 제품 결합 분석 및 역설계 지원 SW 개발)

참고문헌

- [1] Sokovic, M., & J. Kopac. "RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development." Materials Processing Technology. 175.1. (2006): 398-403.
- [2] Pauly, M., Mitra, N. J., Giesen, J., Gross, M. H., & Guibas, L. J. "Example-based 3D scan completion." Symposium on Geometry Processing. No. EPFL-CONF-149337. (2005): 23-32.
- [3] Hsu, W. M., Hughes, J. F., & Kaufman, H. "Direct manipulation of free-form deformations." ACM Siggraph Computer Graphics. 26.2. ACM. (1992): 177-184.
- [4] Field, D. A. "Laplacian smoothing and Delaunay triangulations." Communications in applied numerical methods 4.6. (1988): 709-712.
- [5] Glassner, A. S. "graphics gems I." Elsevier, (1993): ch. 4.
- [6] Andrews, J., & Séquin, C. H. "Type-constrained direct fitting of quadric surfaces." Computer-Aided Design and Applications 11.1. (2014): 107-119.
- [7] Lorensen, W. E., & Cline, H. E. "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm." ACM siggraph computer graphics. 21.4. ACM. (1987): 163-169.
- [8] 한국산업규격. "주조품-치수 공차 및 절삭 여유 방식." KS B 0250:2000. (2005).

² 대기압 이상의 압력 하에 용융 금속을 금형에 주입하는 주조법