

절삭과 적층을 복합적으로 수행하는 하이브리드방식 쾌속시작시스템을 위한 충분할

주 호*, 이건우**, 강재관***

Layer Generation for Hybrid Rapid Prototyping System Using Machining and Deposition

Zhu, H.*, Lee, K.W.** and Kang, J. G***

ABSTRACT

This paper introduces a new approach for saving build time of hybrid rapid prototyping by decomposing a part into minimum number of layers. In the hybrid rapid prototyping, a part of a complicated shape is realized by adding layers of a simpler shape, each of which is obtained by machining a sheet of constant thickness from its top and bottom surfaces. Thus it is desired to decompose a given part into the minimum number of layers while guaranteeing each layer to be fabricated from the given sheets using a 3-axis milling machine. To satisfy these requirements, a concave edge-based algorithm is proposed to decompose a part into layers by considering the tool accessibility, the total number of layers, and the allowable sheet thickness.

Key words : Layer generation, Hybrid rapid prototyping, Build time, Layered manufacturing

1. 서 론

1.1 연구배경

현재 시작품제작분야에서 물체의 형상을 생성하는 방법으로 크게 두가지가 있는데, 하나는 전통적인 CNC 절삭가공(traditional CNC machining)으로 물체의 형상을 생성하는 방법이고 다른 하나는 층별성형(layered manufacturing)으로 물체의 형상을 생성하는 방법이다. 첫번째 방법은 다양한 재료를 사용할 수 있고 높은 표면 정밀도를 얻을 수 있지만 내부 형상에 대한 공구의 접근 불가능으로 인해 생성 가능한 형상에 제한이 있다. 두번째 방법은 물체의 형상을 아래 층으로부터 위 방향으로 층별 성형하므로 생성 가능한 형상에 제한 없이 CAD 데이터로부터 물체의 형상을 신속하게 제작할 수 있다는 장점이 있는 반면에 성

형물의 표면에 계단형상(staircase)이 발생하고 과도한 성형시간을 소요하며 사용 가능한 재료에 한계가 있는 등 단점이 존재 한다.

기존 성형방법의 한계점을 해결하기 위하여 위에서 언급한 두가지 성형방법, 즉, 층별성형과 절삭가공을 결합한 새로운 개념의 하이브리드방식 쾌속시작시스템(hybrid rapid prototyping system)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

하이브리드방식 쾌속시작시스템에서는 제작하고 자는 파트를 3차원 형상의 layer으로 분할한 후, 각각의 layer형상을 절삭가공을 통해 생성하고 이들을 적층하여 파트를 생성한다. 이 시스템에서 파트분할 작업이 성형시간에 미치는 영향은 기존 쾌속시작시스템에서 보다 더욱 크고 고려해야 할 사항도 더욱 많다. 이는 기존 쾌속시작시스템에서는 파트를 단순히 2차원 형상의 layer으로 분할하면 되지만, 하이브리드방식 쾌속시작시스템에서는 주어진 가공시스템에서 가공 가능한 3차원 형상의 layer으로 파트를 분할해야 할뿐만 아니라 적층시간과 가공을 위한 셋업시간을 줄이기 위해 layer개수가 최소화 되도록 파트를 분할해야 하

*교신저자, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering

**중신회원, 서울대학교 기계항공공학부

***중신회원,경남대학교 기계자동화공학부

- 논문투고일: 2004. 05. 24

- 심사완료일: 2005. 08. 19

기 때문이다.

하이브리드방식 쾌속시작시스템에서 효율적인 성형작업을 수행하기 위해서는 파트를 분할할 때 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

- 공구접근 가능성: 파트를 분할하는 기본 목적은 내부형상과 undercut형상 등 공구 접근이 불가능한 형상들을 파트분할을 통해 공구 접근이 가능하도록 하는 것이므로 분해된 layer의 모든 면들은 공구 접근이 가능해야 한다.
- 판재두께: 분할된 layer의 두께는 공급 가능한 판재의 최대 두께를 넘지 말아야 한다.
- Layer개수: 적층시간을 줄이기 위해 가능한 layer 개수를 최소화 해야 한다.

본 논문에서는 하이브리드방식 쾌속시작시스템의 성형시간을 줄이기 위하여 위에서 설명한 사항들을 종합적으로 고려하여 layer개수가 최소화 되도록 파트를 분할하는 concave edge기반 알고리즘을 제안한다.

1.2 관련연구

기존 쾌속시작시스템을 위한 파트분할에 관한 논문¹¹⁻¹³⁾은 많이 발표되었지만 하이브리드방식 쾌속시작시스템을 위한 파트분할에 대한 논문은 상대적으로 적은 편이다.

Hur¹⁴⁾가 개발한 파트분할 방법은 1차분할, 2차분할, 병합(merging) 3단계로 나눌 수 있다. 먼저 면들의 법선벡터 Z좌표성분 부호를 기준으로 면들을 그룹핑 하는 방법으로 공구접근이 가능하도록 파트를 1차분할한 후 공급 가능한 판재의 최대 두께를 제한조건으로 1차분할을 통해 생성한 layer들에 대해 2차분할을 수행한다. 그러나 두차례의 분할 결과 불필요한 layer들이 파생되고 아울러 layer개수가 증가하는 문제가 발생하기 때문에 layer개수를 줄이기 위해 병합 작업을 수행 한다. 하지만 파트의 형상이 복잡할 경우, 공구길이, 판재두께, 공구의 접근방향 등 제한조건 때문에 파생된 layer들을 항상 적절히 병합할 수 없는 관계로 layer개수가 불필요하게 증가하게 된다. 예로, Fig. 1에서 나타낸 아주 간단한 파트에 대해 이 알고리즘을 적용하면 6개의 layer가 생성되지만, 본 논문에서 제시한 방법을 적용하면 5개의 layer으로 분할할 수 있다.

Dhaliwal¹⁵⁾은 multi-piece sacrificial mold를 제작하기 위하여 1차분할, 2차분할, 병합 3단계로 구성된 특징형상 기반 형상분할 알고리즘을 개발하였다. 1차분할은 mold로 만들고자 하는 파트를 구성하는 primitive들간의 접촉면을 따라 파트를 분할 한다. 1차

분할을 수행한 후, 파트상에 존재하는 sharp concave edge로 인해 발생하는 공구의 접근 불가능 문제를 해결하기 위하여 1차분할을 통해 생성한 layer들에 대해 concave edge를 이용하여 2차분할을 수행한다. 두차례의 분할과정에서 불필요한 layer들이 파생되게 되는데, 이들을 없애기 위해 가공방향이 같은 layer들을 병합 한다. 하지만 인접한 layer들만 병합 가능하고 또한 공구길이, 판재두께, 공구접근 방향, 간섭 등 제한조건 때문에 두차례의 분할 과정에서 파생한 불필요한 layer들이 항상 적절히 병합 될 수 없고 결과적으로 layer개수가 증가하는 문제를 초래한다. 또한, 이 방법은 파트를 분할할 때 판재두께를 고려하지 않았다.

Kim¹⁶⁾은 패턴 제작을 위하여 각각의 component에 대해 서로 다른 적응방향과 절삭방향을 적용하여 공구접근 가능성을 만족하는 동시에 component개수가 최소화 되도록 파트를 분할하는 알고리즘을 개발하였다. 하지만 component들의 적응방향과 절삭방향이 다르므로 적응작업과 절삭작업을 동시에 자동으로 수행할 수 없으므로 하이브리드방식 쾌속시작시스템에 적용하기는 힘들다. 그리고 이 알고리즘은 판재두께를 고려하지 않았다.

Chang¹⁷⁾은 재료의 적응과 제거를 반복 수행하면서 파트를 성형하는 shape deposition manufacturing system을 위해 파트를 분할하는 알고리즘을 개발하였다. -Z축 방향으로의 공구접근 가능성을 고려하여 파트상에 존재하는 실루엣 곡선을 기준으로 파트를 1차분할한 후 적응 가능한 층의 두께, 공구의 날 길이 등 제한 조건을 이용하여 2차분할 한다. 이 방법은 파트를 SDM에서 제작 가능한 layer으로 분할하는데 그치고, layer개수 최소화 같은 문제들은 언급하지 않았다.

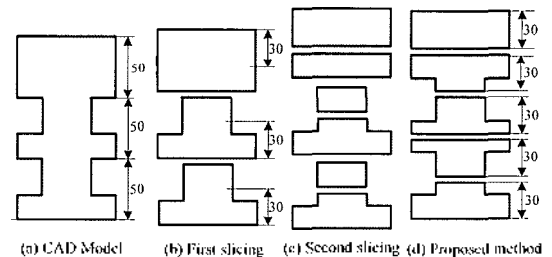


Fig. 1. Layers generated by Hur's method and proposed method.

기존의 연구들은 형상에 대한 공구의 접근 가능성에 초점을 두고 먼저 공구의 접근이 가능하도록 파트를 분할한 후 기타 조건(예, 판재두께)을 만족하도록 추가적인 분할작업을 수행 한다. 즉, 각각의 조건을 만

속하기 위한 분할작업이 독립적으로 진행되기 때문에 서로서로 중복/간섭이 발생하고 불필요한 layer가 파생된다. 마지막으로 파생된 불필요한 layer들을 병합하여 layer개수를 줄이려고 하였지만 파트를 처음 분할할 때 layer의 병합 및 layer 개수 최소화 등 사항들을 고려하지 않았고 또한 기타 제한조건 때문에 적절한 병합을 수행할 수 없고 결과적으로 layer개수가 증가하는 문제가 발생한다. 그의 기존 연구들은 layer 개수, 판재누께 등 사항들을 충분히 다루지 못하였다.

2. 하이브리드방식 쾌속시작시스템

서울대학교에서는 Fig. 2와 같이 적층공정과 절삭공정을 복합적으로 수행하는 하이브리드방식 쾌속시작시스템을 개발하였다^[9].

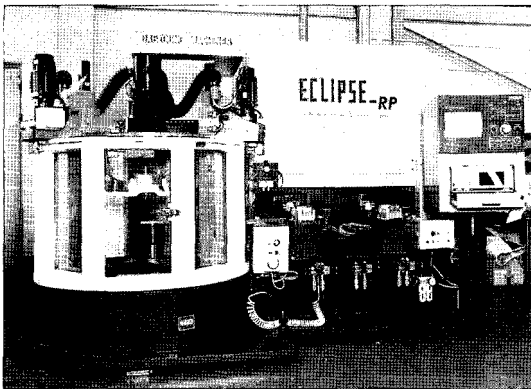


Fig. 2. Hardware of hybrid rapid prototyping system.

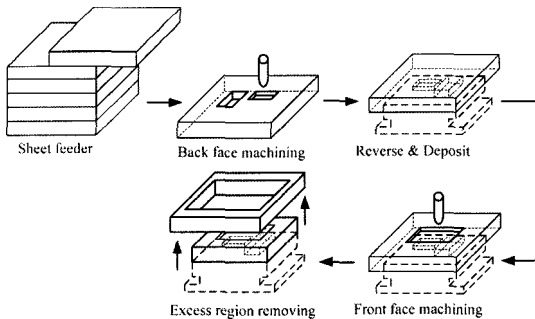


Fig. 3. Process of hybrid rapid prototyping.

이 시스템의 공정은 Fig. 3에서 나타낸 것과 같이 뒷면가공, 판재 뒤집기, 판재접착, 앞면가공, 외곽판재 제거 순서로 진행되는데, 각각의 layer형상은 양방향(앞면/뒷면) 3축 가공을 통해 최대 두번의 셋업으로 생성한다. 따라서 layer의 형상을 구성하는 모든 면들은

최소한 앞면/뒷면 양방향중에서 어느 한 방향으로 공구의 접근이 가능해야 한다. Fig. 4(a)과 같이 +Z축 방향으로 빛을 쏠 때 빛과 layer면들의 교점이 두개 이상 존재하지 않으면 이 layer는 사용할 수 있고, 반대로 Fig. 4(b)와 같이 빛과 layer면들간의 교점이 두개 이상 존재하면 이 layer는 사용할 수 없다. 본 논문에서는 +Z축 방향을 성형방향으로 정의한다.

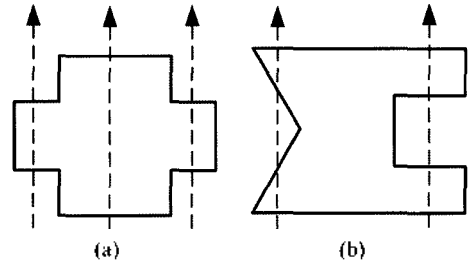


Fig. 4. Tool accessibility condition of layer.

3. 파트분할 알고리즘

Fig. 4(b)와 같이 파트에 +Z축과 -Z축 양방향으로 모두 보이지 않는 concave edge가 존재하면 형상에 대한 공구접근이 불가능하게 되는데 본 논문에서는 이와 같은 concave edge를 undercut edge라고 한다. 만약 파트에 이와 같은 undercut edge가 존재하면 분할작업을 수행하여 undercut edge를 없애야 하는데, 문제의 초점은 파트상에 존재하는 undercut edge 중에서 분할위치 결정에 필요한 undercut edge를 추출하고 layer개수가 최소화 되도록 파트를 분할 하는데 있다.

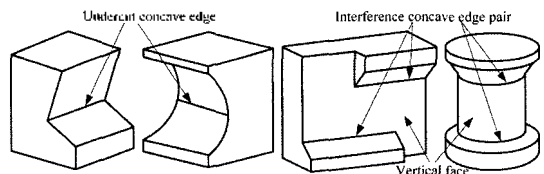


Fig. 5. Two kinds of undercut edges.

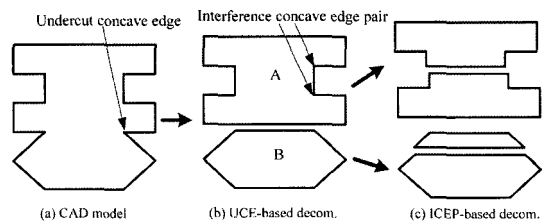


Fig. 6. Part decomposition algorithm.

본 알고리즘은 파트상에 존재하는 undercut edge를 Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 undercut concave edge (UCE)와 interference concave edge pair(ICEP) 두가지 유형으로 나누고, 이들을 없애기 위한 분할작업을 각자 특성에 따라 Fig. 6에서와 같이 UCE-based decomposition과 ICEP-based decomposition 두 단계로 나누어서 수행하는데, 먼저 undercut concave edge를 추출하고 UCE-based decomposition을 수행한 후 interference concave edge pair의 추출과 더불어 ICEP-based decomposition을 수행한다.

Undercut concave edge의 정의는 다음과 같다. 어떤 concave edge를 공유하는 면들의 법선 벡터의 Z 좌표성분 부호가 동일하지 않고, 그중 하나는 음이고 다른 하나는 양이면, 즉, 성형방향을 따라 발사한 빛이 이 concave edge를 공유하는 모든 면들과 교점이 존재하면 이 concave edge를 undercut concave edge 이라고 정의한다. Fig. 5에서 나타냈듯이 만약 파트에 undercut concave edge가 존재하면 그 어떤 경우에도 공구의 접근이 불가능하게 된다. 이때 형상에 대한 공구의 접근을 가능하게 하는 유일한 방법은 undercut concave edge위치에서 파트를 분할하는 것이다.

Undercut concave edge위치에서 undercut concave edge를 없애기 위한 목적으로 수행하는 파트분할을 UCE-based decomposition이라고 한다. Undercut concave edge위치는 판재두께 등 사항들과 관계없이 반드시 분할을 수행 해야 하는 위치다. 판재두께, layer개수 등 기타 조건을 적용하기 전에 이 위치에서 미리 UCE-based decomposition을 수행함으로써 상대적으로 비교적 간단한 파트들이 생성됨에 따라 ICEP의 추출이 용이하고 아울러 판재두께, layer개수 등 조건을 적용하여 ICEP-based decomposition을 수행할 수 있다. Undercut concave edge의 추출방법과 UCE-based decomposition을 수행하는 방법은 4장에서 자세히 설명한다.

Undercut concave edge와 유사하게 다음과 같은 조건을 만족하는 한쌍의 concave edge를 interference concave edge pair (ICEP)이라고 정의한다.

- ① 성형방향에 평행한 동일 면상에 위치해야 한다.
- ② 성형방향에 수직인 평면에 투영하였을 때 겹치는 부분이 있어야 한다.
- ③ 이 edge들을 공유하는 면중에서 성형방향에 평행한 면을 제외한 기타 두면의 법선벡터의 Z 성분 부호가 동일하지 않고, 그중에서 위에 위치한 edge와 연결된 면은 음의 방향으로 향하고, 아래에 위치한 edge와 연결된 면은 양의 방향으로

로 향한다.

ICEP-based decomposition은 다음과 같은 두 가지 경우에 수행하는데 ICEP의 존재여부에 따라 각자 다른 분할 방법을 사용한다.

- ① UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer에 ICEP가 존재하는 경우
 - ② UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer의 두께가 공급 가능한 판재두께 보다 클 경우
- UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer들은 두가지 유형으로 나눌 수 있는데, 하나는 Fig. 6(b)의 layer A과 같이 interference concave edge pair이 존재하는 layer이고, 다른 하나는 Fig. 6(b)의 layer B와 같이 interference concave edge pair이 존재하지 않는 layer이다. Layer A는 interference concave edge pair이 존재하기 때문에 공구의 접근이 불가능하고, 또한 layer 두께가 공급 가능한 판재 두께 보다 클 가능성이 있으므로 반드시 Fig. 6(c)와 같이 ICEP-based decomposition을 수행해야 한다. Layer B는 interference concave edge pair이 존재하지 않기 때문에 공구의 접근은 가능하지만 layer두께가 공급 가능한 판재 두께 보다 클 수 있으므로 경우에 따라 ICEP-based decomposition을 수행해야 한다. 따라서 UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer들에 대해 interference concave edge pair의 존재 여부와 공급 가능한 판재로 가공할 수 있는지를 판단 해야 하고, 만약 interference concave edge pair이 존재하거나 공급 가능한 판재로 생성할 수 없으면 추가적으로 ICEP-based decomposition을 수행하여 가공가능성 조건(공구접근 가능성 및 판재 두께)을 만족하게 해야 한다.

UCE-based decomposition과 달리 ICEP-based decomposition의 분할위치는 자연적으로 결정된 것이 없고 비교적 유동적이다. Fig. 7에서 나타낸 것과 같이 UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer에 ICEP가 존재할 경우, ICEP사이의 임의 위치에서 한번만 분할하면 공구의 접근이 가능하게 되므로 단지 공구접근가능성만 고려한다면 공구접근이 가능하게 하는 분할위치가 매우 많다. ICEP가 존재하지 않는 경우에도 단지 판재두께만 고려한다면 layer두께가 공급 가능한 판재의 두께를 넘지 않도록 하는 분할위치가 아주 많다. 따라서 ICEP-based decomposition의 분할위치를 결정할 때 공구접근 가능성, 판재두께, layer개수 등 사항들을 종합적으로 고려하여 가장 적은 layer개수로 파트를 분할해야 한다. ICEP의 추출방법과 ICEP-based decomposition을 수행하는 방법은

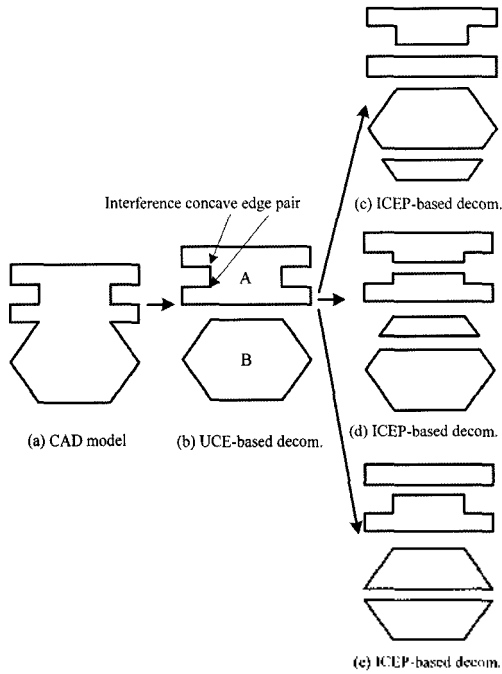


Fig. 7. The ICEP-based decomposition.

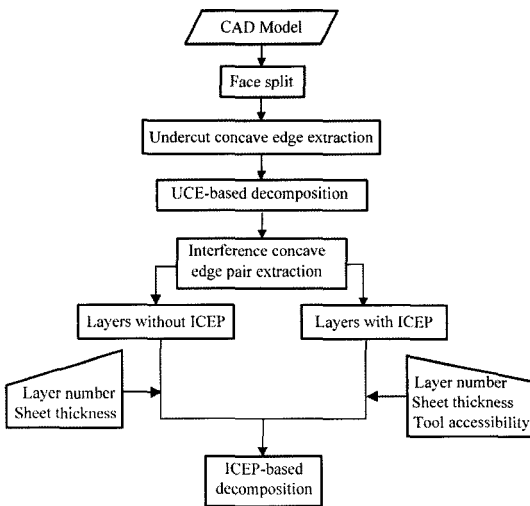


Fig. 8. Diagram of part decomposition algorithm.

5장에서 자세히 설명한다.

Fig. 8에는 본 논문에서 제안한 파트 분할 알고리즘을 순서도로 나타내었다. 파트의 CAD모델이 입력되면 파트에 존재하는 면들을 검색하고 면상의 모든 점에서의 법선벡터의 Z좌표 성분의 부호가 동일하도록 면을 분할 한다. 그리고 파트상에 존재하는 undercut concave edge들을 추출하고, undercut concave edge를 기준으로 UCE-based decomposition을 수행한다.

UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer들에 대해 interference concave edge pair의 존재 여부를 판단하고, 만약 layer에 interference concave edge pair이 존재하면 공구접근가능성, 판재두께, layer개수를 고려하여 ICEP-based decomposition의 분할 위치를 결정하고, 만약 layer에 interference concave edge pair이 존재하지 않으면 판재두께, layer개수만 고려하여 ICEP-based decomposition의 분할 위치를 결정한다.

본 연구에서 제안한 파트분할 방법은 중복된 분할 작업을 수행하지 않으므로 불필요한 layer들이 파생되지 않고 병행작업도 필요 없기 때문에 기존방법에 비해 적은 개수의 layer를 생성할 수 있을 뿐만 아니라 알고리즘도 간단하다.

4. UCE-based decomposition

UCE-based decomposition은 파트에 undercut concave edge가 존재하는 경우에 undercut concave edge위치에서 수행하는데 면 분할, undercut concave edge 추출, 파트분할 등 3단계로 구성된다.

(1) 면 분할(face split):

평면의 법선벡터의 Z좌표성분 부호는 평면상의 모든 점에서 동일하지만 곡면의 법선벡터의 Z좌표성분 부호는 곡면상의 각 점에서 다를 수 있다. 본 연구에서 면을 분할하는 목적은 파트를 구성하는 면들의 법선벡터의 Z좌표성분 부호가 각자 면상의 모든 점에서 동일하도록 하기 위해서 이다. 면을 분할하기 위해서는 +Z축 또는 -Z축 방향으로 이면을 보았을 때 면의 보이는 부분과 보이지 않는 부분을 구분하는 곡선, 즉 실루엣 곡선을 생성하고 Fig. 9와 같이 곡면을 분할하는 동시에 새로운 edge를 생성한다. 실루엣 곡선은 수학적으로 $N(u, v) \cdot Z = 0$ 으로 표현할 수 있는데 Z는 성형방향을 나타내고, $N(u, v)$ 는 법선벡터를 표시한다.

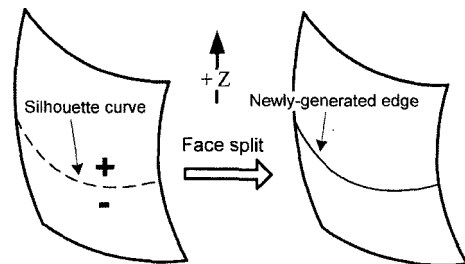


Fig. 9. Face split.

(2) Undercut concave edge 추출:

파트를 구성하는 모든 면 중에서 음의 방향으로 향한 면들(예, $f1$)을 검색하고(Fig. 10(a)), 음의 방향으로 향한 각 면상(예, $f1$)에 존재하는 edge(예, $e1$)들을 검색한다. 그리고 Ve^{13} 에서 제시한 알고리즘을 이용하여 검색한 edge들의 concavity 여부를 판단한다. 만약 어느 면상(예, $f1$)에 존재하는 어떤 edge(예, $e1$)가 concave edge 이고, 이 edge를 공유하는 다른 한면(예, $f2$)의 법선 벡터의 Z좌표성분 부호가 양이면, 이 edge($e1$)는 undercut concave edge 이다.

반대로 Fig. 10(b)와 같이 이 edge를 공유하는 다른 한면의 법선 벡터의 Z성분 부호가 양이 아니면 이 edge는 undercut concave edge가 아니다.

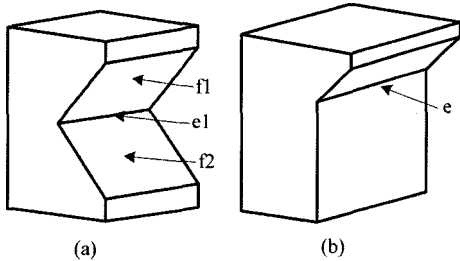


Fig. 10. Extraction of undercut concave edge.

(3) 파트 분할:

UCE위치에서 Fig. 11에서와 같이 파트 분할을 수행할 때 파트형상의 복잡성과 UCE의 유형에 따라 다음과 같은 방법을 사용한다.

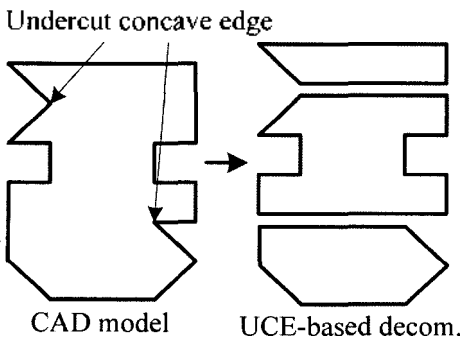


Fig. 11. The UCE-based decomposition.

- 만약 UCE가 X-Y평면에 평행한 직선이거나 곡선인 경우, 이 UCE를 포함하고 X-Y평면에 평행한 평면으로 Parasolid의 절단 기능을 이용하여 분할 한다(Fig. 12).

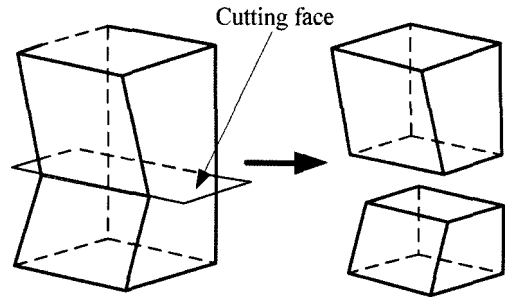


Fig. 12. UCE case-1.

- 만약 UCE가 X-Y평면에 경사진 직선이거나 2차 곡선인 경우, 또한 이 UCE상의 가장 높은점과 낮은 점을 통과하고 Z축과 수직하는 testing face 범위내에 다른 UCE가 존재하지 않을 때(Fig. 13(a)), 이 UCE를 포함하는 평면을 절단면으로 Parasolid의 절단 기

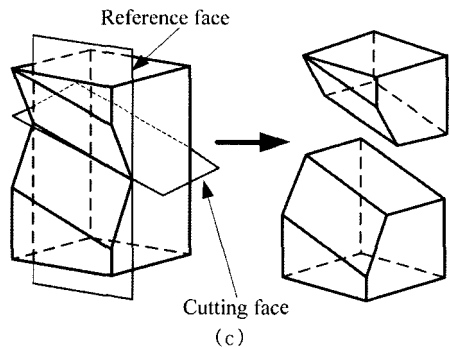
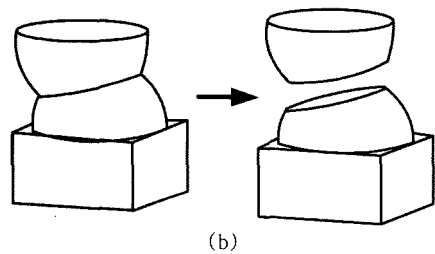
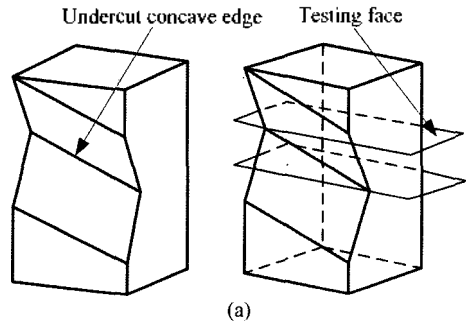


Fig. 13. UCE case-2.

능을 이용하여 분할 한다. UCE가 2차 곡선인 경우에는 이 2차 곡선으로 만들어지는 평면을 절단평면으로 하고(Fig. 13(b)), UCE가 경사선 직선인 경우에는 이 UCE를 통과하고 Z축과 평행하는 Reference face와 수직하는 평면을 절단평면으로 한다(Fig. 13(c)).

- 위에서 설명한 경우외에 기타 UCE가 존재할 경우(Fig. 14), 각층에 해당하는 면들을 grouping하는 방법으로 분할 한다. 먼저 UCE를 기준으로 Parasolid의 imprint 기능을 이용하여 additional edge를 생성하여 edge chain을 만든다. 그리고 밑면으로 부터 시작하여 위방향으로 이 edge chain을 만날 때까지의 모든 face들을 검색하여 face set을 만든다. 또한 edge chain을 이용하여 face set에 대응하는 cover를 만들어 최종적으로 하나의 솔리드를 생성한다.

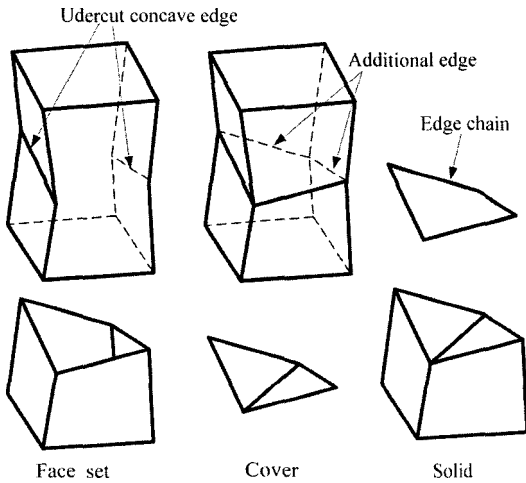


Fig. 14. UCE case-3.

5. ICEP-based decomposition

ICEP-based decomposition을 수행하려면 먼저 UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer에 대해 ICEP의 존재여부를 판단해야 하고, 만약 ICEP가 존재하면 이들을 추출해야 하는데 본 논문에서는 다음 같은 알고리즘을 사용한다.

- 모델을 구성하는 모든 면들중에서 음의 방향으로 향한 면들(예, f1)을 검색한다(Fig. 15).
- 음의 방향으로 향한 각 면상(예, f1)에 존재하는 edge(예, e1)들을 검색하고, Ye^[13]의 알고리즘을 이용하여 검색한 edge(예, e1)들의 concavity 여부를 판단한다.
- 만약 어떤 edge(예, e1)가 concave edge이면 이

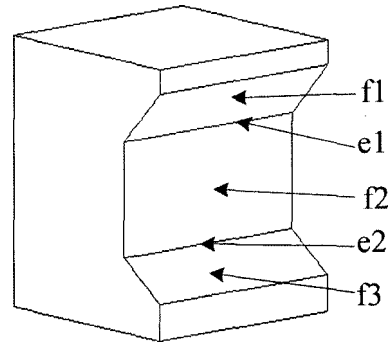


Fig. 15. Extraction of ICEP.

edge와 연결되어 있는 면중에서 성형방향에 평행하는 면(예, f2)을 검색하고, 이 면상에 존재하는 edge(예, e2)들의 concavity 여부를 판단한다.

- 만약 어떤 edge(예, e2)가 concave edge이면 이 edge와 연결되어 있는 면(예, f3)을 검색한다.
- 만약 이 면(예, f3)이 양의 방향으로 향하고, 이 두 edge(예, e1, e2)를 수평면에 투영하였을 때 겹치는 부분이 있고 또한 e1이 e2위에 위치하면, 이 두 edge는 interference concave edge pair이다.

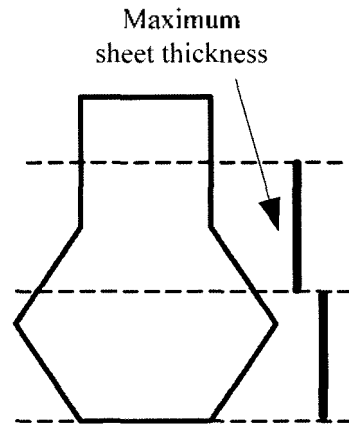


Fig. 16. Decomposition for layer without ICEP.

UCE-based decomposition을 통해 생성한 layer의 두께가 공급 가능한 판재 최대 두께보다 크거나 또는 ICEP가 존재하면 ICEP-based decomposition을 수행해야 한다. 만약 layer에 ICEP가 존재하지 않고 단지 layer의 두께가 공급 가능한 판재 최대 두께 보다 큰 경우에는 그냥 Fig. 16과 같이 파트의 밑면으로부터 시작하여 위 방향으로 공급 가능한 판재의 최대 두께

크기로 layer를 분할하면 되지만, 만약 layer에 ICEP가 존재하는 경우에는 공구 접근이 가능하게 하기 위하여 Fig. 17(a)와 같이 ICEP사이에서 적어도 한번은 분할을 수행해야 하며 동시에 판재두께도 고려해야 한다. ICEP사이의 거리(D)가 공급 가능한 판재의 최대 두께(W) 보다 클 경우에는 ICEP사이에서 적어도 한번은 분할이 저절로 이루어지게 된다. 하지만 ICEP사이의 거리(D)가 공급 가능한 판재의 최대 두께(W) 보다 작을 경우, ICEP사이에서 분할이 저절로 이루어지지 않는 경우도 발생할 수 있으므로, 파트의 밑면으로부터 시작하여 판재 최대 두께(W) 크기로 매번 새로운 분할 위치를 결정할 때 마다 시작 위치(Fig. 17(b))와 ICEP중의 upper concave edge 사이의 거리(H)를 검사한다. 만약 H가 판재 최대 두께(W) 보다 크면 문제가 없지만, 반대로 H가 판재 최대 두께(W) 보다 작고, ICEP사이의 거리(D) 보다 크면 ICEP중의 upper concave edge위치에서 분할 해야 한다. 즉, $D < H < W$ 경우에는 H크기(upper concave edge위치)로 분할하고(Fig. 17(c)), 기타 경우에는 W크기로 분할하면 된다(Fig. 17(d)).

실제로 파트상에는 수많은 ICEP가 존재하지만 그 위치관계는 Fig. 18에서 나타난 것과 같이 3가지 종류로 나눌수 있다. 즉, E와 F같이 동일한 크기로 동일한

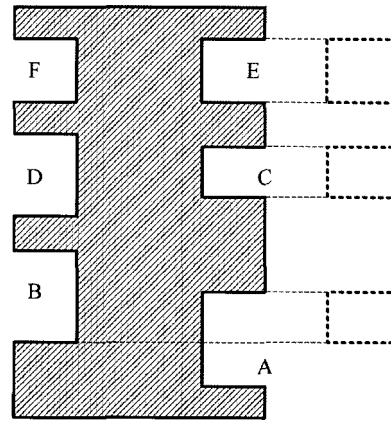


Fig. 18. The position of ICEP in part.

높이에 위치한 ICEP, D와 C 같이 서로 포함되는 ICEP, 그리고 B와 A 같이 접하는 ICEP가 있다. ICEP의 Upper concave edge와 Lower concave edge의 높이를 이용하여 ICEP들의 위치관계를 쉽게 판단 할수 있고, 아울러 파트상에 존재하는 ICEP들을 위치관계에 따라 3가지 종류로 분류하여, 수많은 ICEP중에서 분할위치 결정에 실질적으로 영향을 미치는 “유효한 ICEP”들의 Upper concave edge와 Lower concave edge의 높이를 이용하여 위에서 설명한 방법으로 ICEP의 분할위치를 결정하면 된다. 예로, E와 F 같은 경우에는 임의 ICEP의 Upper concave edge와 Lower concave edge의 높이, D와 C 같은 경우는 C의 Upper concave edge와 Lower concave edge의 높이, B와 A 같은 경우는 A의 Upper concave edge와 B의 Lower concave edge의 높이를 이용하여 위에서 설명한 방법으로 ICEP의 분할위치를 결정하면 된다.

ICEP-based decomposition의 분할위치를 결정할 때 다음과 같은 두가지 경우에 공구와 body간의 간섭검사를 수행해야 한다.

첫번째 경우는 Fig. 19와 같이 UCF-based decomposition을 통해 생성한 layer에 한 개 이상의 독립적인 body가 존재할 때 공구와 body간의 간섭검사를 수행해야 한다. 이는 만약 하나의 layer에 한 개 이상의 독립적인 body가 존재할 경우, 공구와 body간의 간섭으로 인해, 공구의 접근이 불가능한 면들도 있을 수 있기 때문이다. 예로 Fig. 19에서 공구와 body A간의 간섭으로 인해 body B의 ②면이 공구의 접근이 불가능하고, 공구와 body B간의 간섭으로 인해 body A의 ①면이 공구의 접근이 불가능하다. 따라서 만약 UCF-based decomposition을 통해 생성한 layer에 여

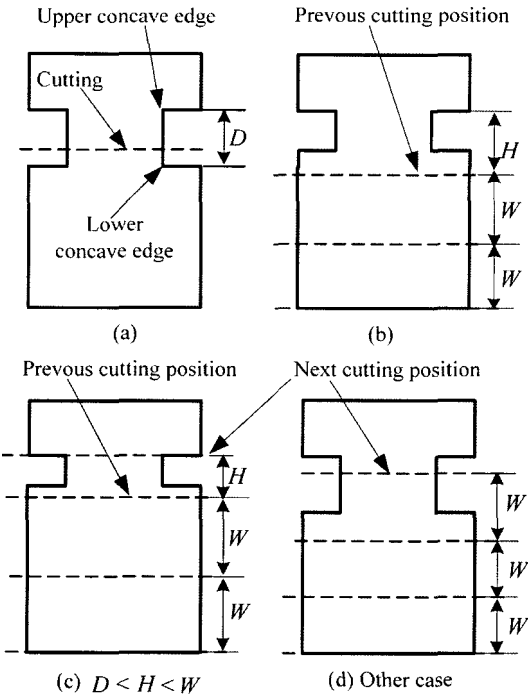


Fig. 17. Decomposition for layer with ICEP.

러 개의 독립적인 body가 존재할 경우 공구와 body 간의 간섭검사를 수행해야 하는데, 간섭검사는 각각의 body를 Z축 방향으로 스위핑(sweeping)하여 body들간에 충돌 발생여부 또는 수평면에 투영하여 겹치는 부분의 존재여부를 심사하는 방법으로 수행한다. 비록 ICEP는 존재하지 않지만, 이러한 경우를 ICEP의 특수한 경우로 간주하여 위에서 설명한 방법을 적용하여 분할할 수 있는데, 다만 ICEP사이의 거리D는 두 body간의 Z축 방향에서의 간격으로 해야 한다.

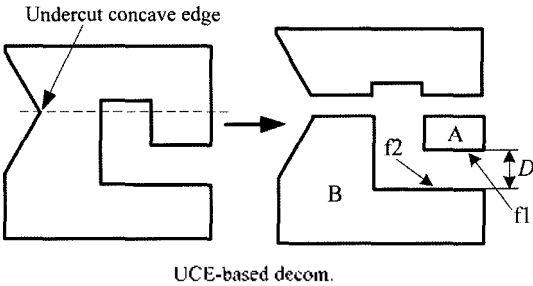


Fig. 19. Special case-1 of ICEP-based decomposition.

Fig. 20은 공구와 body간의 간섭검사를 수행해야 하는 두번째 경우를 나타내었다. Fig. 20(a)에서 나타낸 것과 같이 ICEP-based decomposition을 수행할 때 만약 위치 P2에서 분할하면, 한 개 이상의 독립적인 body를 포함한 layer가 생성되고 아울러 첫번째 경우에서와 같은 문제가 발생할 수 있다. 따라서 앞에서 설명한 방법으로 매번 새로운 분할위치(예, P2)를 계산하고, 이 분할위치에서 파트를 분할하였을 때 만약 하나의 layer가 한 개 이상의 body를 포함하면 간섭검사를 수행해야 하고, 만약 간섭이 발생한다면 Fig. 20(b)에서와 같이 분할위치를 수정한다.

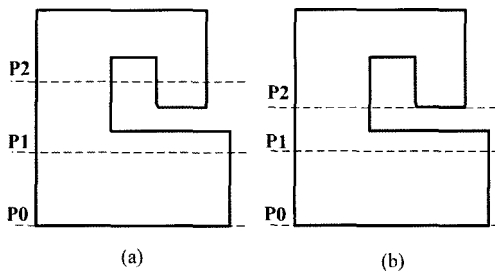


Fig. 20. Special case-2 of ICEP-based decomposition.

6. 적용 예

본 논문에서 제시한 파트분할 알고리즘은 Windows

환경에서 C언어와 Parasolid modeling kernel을 이용하여 구현하고, 이 알고리즘이 하이브리드방식 쾌속시작시스템의 요구에 맞게 파트를 분할 할 수 있는지를 검증 하기 위하여 실제 산업현장에서 사용되는 파트에 적용해 보았다.

Fig. 21(a)과 (b)는 각각 알고리즘 검증에 사용된 십압대 파트와 UCE-based decomposition 결과를 나타내고, Fig. 21(c)는 공구 접근성만 고려하여 ICEP-

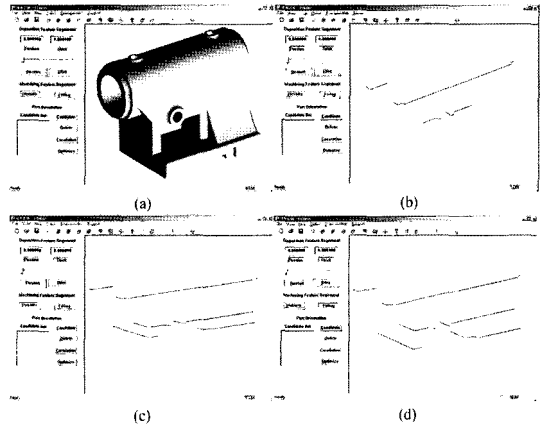
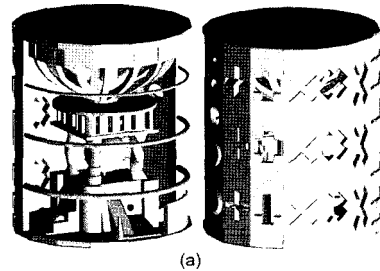


Fig. 21. Tailstock.



(a)

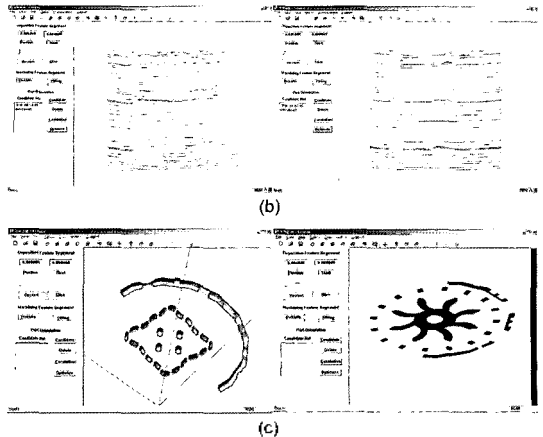


Fig. 22. Test model.

based decomposition을 수행한 결과 그리고 Fig. 21(d)는 공구 접근성, 관재두께 및 layer개수를 고려하여 ICEP-based decomposition을 수행한 결과를 나타내었다.

Fig. 22(a)에서 나타낸 것은 서울대학교 건설설계공학연구소에서 성형성능을 검증하기 위하여 개발한 모델이고, (b)와 (c)는 공구접근 가능성, 관재두께 및 layer개수를 고려하여 모델을 분할한 결과와 아예 생성한 layer의 형상을 나타내었다.

7. 결 론

본 논문에서는 공구접근가능성, 관재두께, layer개수 등 사항들을 고려하여 하이브리드방식 캐삭시작시스템을 위한 파트분할 알고리즘을 개발하였다. 주어진 성형방향에 대하여 파트에 존재하는 undercut edge 들을 undercut concave edge와 interference concave edge pair 두 유형으로 나누고 undercut edge들의 각 특성에 맞게 분할작업을 두 단계로 나누어서 수행하였는데 기타 방법에 비해 적은 개수의 layer으로 파트를 분할함으로써 성형시간을 단축할 수 있게 하였다. 앞으로 가공불륨도 고려하여 적층시간 뿐만 아니라 가공시간도 단축할 수 있도록 가공불륨이 최소화 되게 파트를 분할하는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Pandey, P. M., Reddy, N. V. and Dhande, S. G., "Real Time Adaptive Slicing for Fused Deposition Modeling", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, No. 1, pp. 61-71, 2003.
2. Choi, S. H. and Kwok, K. T., "Hierarchical Slice Contours for Layered-manufacturing", *Computers in Industry*, Vol. 48, No. 3, pp. 219-239, 2002.
3. James B. Taylor, Denis R. Cormier, Sandesh Joshi and Vivek Venkataraman, "Contoured Edge Slice Generation in Rapid Prototyping Via 5-axis Machining", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, No. 1-2, pp. 13-18, 2001.
4. Tyberg, J. and Böhn, J. H., "FDM Systems and Local Adaptive Slicing", *Materials & Design*, Vol. 20, No. 2-3, pp. 77-82, 1999.
5. Ma, W. Y. and He, P., "An Adaptive Slicing and Selective Hatching Strategy for Layered Manufacturing", *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90, pp. 191-197, 1999.
6. 지해성, "신속성형기술 전용 별집구조 형상 모델링 기술 개발", 한국캐드캠학회논문집, 제4권, 제3호, pp. 180-189, 1999.
7. 허정훈, 이진우, 안재홍, "신속시작작업에서 2차원 단면데이터를 이용한 3차원 물체의 최적자동배치를 위한 알고리즘의 개발", 한국캐드캠학회논문집, 제2권, 제3호, pp. 195-210, 1997.
8. 이상호, 안동규, 최홍식, 양동열, 문영복, 채희장, "VLM-ST용 CAD/CAM 시스템에서 단위 형상층 생성 방법 및 적용 예", 한국캐드캠학회논문집, 제7권, 제3호, pp. 148-156, 2002.
9. Hur, J. H., Lee, K. W., Zhu, H. and Kim, J. W., "Hybrid Rapid-prototyping System Using Machining and Deposition", *Computer-Aided Design*, Vol. 34, No. 10, pp. 741-754, 2002.
10. Dhaliwal, S., Gupta, S. K., Huang, J. and Kumar, M., "A Step Towards Automated Design of Sacrificial Multi-piece Molds", *ASME International Congress and Exposition*, New York, November 2001.
11. Ki, D. W. and Lee, K. W., "Part Decomposition for Die Pattern Machining", *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131, pp. 599-607, 2002.
12. Chang, Y. C., Pinilla, J. M., Kao, J. H., Dong, J., Ramaswami, K. and Prinz, F. B., "Automated Layer Decomposition for Additive/Subtractive Solid Freeform Fabrication", *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, The University of Texas at Austin*, August 1999.
13. Ye, X. G., Fuh, J. Y. H. and Lee, K. S., "A Hybrid Method for Recognition of Undercut Features from Moulded Parts", *Computer-Aided Design*, Vol. 33, No. 14, pp. 1023-1034, 2001.



주 호

1988년 중국 길림공업대학교 기계공학과 공학사
2000년 서울대학교 기계항공공학부 공학석사
2003년 서울대학교 기계항공공학부 공학박사
1988년~1998년 중국 연변대학교 기계공학부 조교수

2003년~2004년 서울대학교 기계항공공학부 시간강사/박사후과정
2004년~2005년 경남대학교 기계자동화공학부 계약교수
2005년~현재 중국 심양항공대학교 기계공학과 교수
관심분야: CAD/CAM, Rapid prototyping/tooling, 직층가공



이 건 우

1978년 서울대학교 기계공학과 공학사
1981년 미국 M.I.T. 기계공학과 공학석사
1984년 미국 M.I.T. 기계공학과 공학박사
1984년 1월~1986년 1월 미국 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 조교수
1992년 8월~1993년 8월 미국 M.I.T. 기계공학과 객원 부교수

2002년 8월~2003년 8월 미국 Stanford 기계공학과 객원 부교수
1986년 3월~현재 서울대학교 공과대학 기계설계학과 교수
관심분야: 다중 해상도 개념 기반 모델링, 폐쇄조형, Medical device, Human modeling & analysis



강 재 관

1983년 서울대학교 산업공학과 공학사
1985년 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
1996년 포항공과대학 산업공학과(생산공학) 공학박사
1985년~현재 경남대학교 기계자동화공학부 교수

관심분야: 직층가공, 다이렉트 CNC 포밍, 다축 레이저 커팅, 설계자동화시스템 개발