

〈논 문〉

SLA를 이용한 신속시작작업을 위한 지지대 자동생성 시스템의 개발

허정훈* · 이건우**

(1995년 11월 15일 접수)

Automatic Support Structure Generation for Stereolithographic Rapid Prototyping

Junghoon Hur and Kunwoo Lee

Key Words : Stereolithography Apparatus(SLA : 광조형장치), Support Structure(지지대)

Abstract

Stereolithography is a process used to rapidly produce polymer components directly from a computer representation of the part. There are several considerations to be made for the efficient use of the process. Especially, the necessity of support structures, which prevent the part from warping, sagging, or parachuting and toppling as the elevator moves up and down in the resin, is one concern. After solidification, the support structures must be removed in the end. Because this post-treatment process is often performed manually, the more the support structures, the more it increases the finishing operations. Especially for a complicated part, the removal operations may be difficult, take so much time, and even reduce the accuracy of the product. Thus it is important to efficiently generate the efficient support structure for each part geometry. This paper proposes a procedure to automatically generate the support structures focused on accuracy, efficiency, convenience, and generation speed.

1. 연구 배경

시작품(prototype)을 제작하는 일반적인 목적은 제품개발 초기단계에서 설계상의 오류나 실제로 대량생산을 하기에는 적합하지 못한 요인을 조기에 발견하는 것이라 할 수 있다. 그러나 이에 는 적지 않은 시간과 비용이 소요되기 때문에 그 경제성과 효율성이 문제가 된다. 최근에 이러한 한계를 극복하기 위해 신속시작체계(rapid prototyping & manufacturing system)가 활용되고 있으며, 특히

이 중 SLA(stereolithography apparatus)는 1987년에 미국 AutoFact show에서 처음 전시된 이후, 최근 많은 기술적 발전을 보이고 있다. SLA를 이용하여 성형한 3차원 물체는, 형상확인, 조립성 평가 및 기구학적 기능평가를 위한 시작품으로서의 마스터 모델로뿐만 아니라, 최근에는 구조품의 주형제작 등에도 널리 활용되어 그 응용분야가 점차로 광범위해지고 있다^(1,2)

SLA로 물체를 성형하는 기본 원리는, 주어진 3차원 형상데이터(solid data)를 특정방향에 대한 복수의 2차원 단면데이터들의 집합으로 근사표현한 다음, 모델을 순서대로 층별가공(layer-by-layer manufacturing)하여 원하는 형태의 3차원 물체를

*서울대학교 기계설계학과

**회원, 서울대학교 기계설계학과

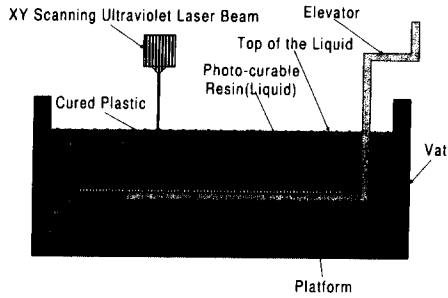


Fig. 1 Operation of stereoLithography apparatus

성형하는 것이다.⁽³⁾ Fig. 1에 SLA를 이용하여 물체를 성형하는 원리를 도식화하였으며, Fig. 2에는 완전한 시작품이 나오기까지의 전과정이 나타나 있다. 이러한 고유의 성형특성때문에 실제로 수조(vat) 안에서 물체를 성형하고자 할 때에 반드시 고려해야 할 몇 가지 사항들이 있다. 그 중에서 성형물체의 지지를 위한 지지대(support structure)의 설계는 성형 정확도와 효율성의 관점에서 매우 중요한 사항이다. 그러나 과거에는 이러한 지지대의 설계 사용자의 경험과 추측에 의한 시행착오를 통해서 이루어져 왔다. 이는 실제 성형시에 불필요한 부분에 지지대를 설계하는 경우(over-design)나, 실제로 지지대가 필요한 부위에 지지대를 설계하지 않는 경우(under-design)를 발생시키는 원인이 된다. 따라서 잘못 설계된 지지대는 수동으로 이루어지고 있는 후처리작업의 번거로움이나 성형 정확도의 저하를 가져오게 된다.⁽⁴⁾

본 논문에서는 간단한 데이터구조와 효과적인 알고리즘에 의해서 각 성형물체의 임의의 성형방향에 대한 지지대를 자동 설계하는 방법을 제시하고자 한다. 물체상의 지지대가 요구되는 부분을 검색한 후, 각 부분의 기하학적 조건에 부합하는 지지대를 정확하고 신속히 설계한다. 본 연구에서는 물체의 형상을 최대한 고려한 지지대의 설계를 위하여 모든 종류의 지지대를 사용하였으며, 성형 시간의 단축을 위하여 구멍(hole)부분에는 지지대를 설계하

지 않았다. 그리고 지지대가 요구되는 면을 찾는 과정에서, 면의 기하학적인 조건뿐만 아니라, 물체의 정역학적인 안정성도 동시에 고려하여 성형 도중이나 후처리과정에 발생할 수 있는 붕괴를 방지하였다.

2. 관련 연구

Kirschman과 Namboodri 등⁽⁵⁾은 지지대의 자동 설계 시스템의 구축을 위해서 지지대가 요구되는 물체의 기하학적인 조건을 조사하였다. 이들은 Base Support Structure와 Part Support Structure에 대하여 지지를 하지 않은 면의 면적과 그 때에 발생하는 에러의 상관관계를 도식화하였으며, 이를 토대로 층의 두께가 주어졌을 때 지지대가 요구되는 최소 사면각도를 이론적으로 구하였다.

Allen과 Dutta⁽⁶⁾는 물체와 지지대가 접촉하는 물체 표면상의 면적을 계산하여 이를 최소화하는 방향으로 최적의 성형방향을 결정하였다. 최적화의 기준으로 지지대의 최소화를 우선적으로 고려한 후, 여러 방향에 대하여 지지대의 양이 같을 경우에 물체의 무게중심이 가장 낮은 방향을 성형 방향으로 선택하게 된다. 그러나 실제로 성형 가능한 지지대를 설계하여 STL 화일을 생성하지는 않았다.

백인환, 김준안, 한창국 등⁽⁷⁾은 성형할 물체의 STL 화일을 이용하여 PC에서 자동생성하는 지지대 자동설계 시스템을 구축하였다. 그러나 지지대의 설계가 단순하며, 면상에 존재하는 여러 개의 구멍(hole)의 처리나 지지대와 물체와의 간섭이 발생할 가능성 등을 고려하지 않았다.

Kirschman과 Jara-Almonte 등⁽⁸⁾은 지지대의 자동생성을 위한 알고리즘을 제시하였다. 이들은 물체를 이루는 모든 모서리들을 Base border, False border, Flat border, Beam border 등으로 분류하여 이를 기반으로 면의 경계 모서리들을 찾아낼 수 있도록 트리형태의 자료 구조를 구성하였다. 그러

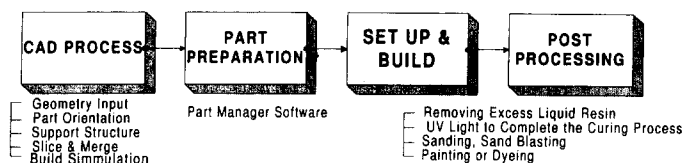


Fig. 2 Stereolithographic rapid prototyping process

나 이러한 자료구조로는 구멍(hole)을 이루는 경계를 표현할 수 없으며 따라서 구멍에도 지지대를 설계하여 성형시의 불필요한 작업을 유발시킬 수 없다.

Douglas Victor와 Coustantin⁽⁹⁾는 MS-Windows^R 상에서 작동하는 지지대 자동설계 시스템을 개발하였다. 그러나 단순한 모델에만 적용 가능하며 구멍이 있거나 모델과의 간섭이 있을 경우에 정확히 지지대를 설계하기 어렵다.

3. 본 론

SLA의 가공 특성상 필요 불가결한 것이 바로 지지대(support structure)이다. 지지대는 SLA의 대표적인 단점중의 한가지이기 때문에 이의 설계에는 각별한 주의가 요구된다. 성형 물체의 지지를 위한 지지대의 설계는 성형 정확도와 효율성의 관점에서 매우 중요한 사항이다. 지지대가 잘못 설계되는 경우는 실제 성형시에 불필요한 부분에 지지대를 설계하는 경우(over-design)와 실제로 지지대가 필요한 부위에 지지대를 설계하지 않는 경우(under-design)로 나누어 볼 수 있다. 따라서 잘못 설계된 지지대는 수동으로 이루어지고 있는 후처리 작업의 번거로움이나 성형 정확도의 저하를 가져오게 된다.

위의 그림 Fig. 3에는 지지대가 요구되는 경우 네 가지의 경우로 나누어 도시되어 있다. 가장 일반적인 경우는 Fig. 3(a)로서, 면의 법선벡터의 z 값(성형방향에 +z와 일치할 경우)이 음의 값을 갖는 바닥면을 향한 면들 중에서 그 법선벡터의 기울어짐의 정도가 일정 각 보다도 음의 방향으로 큰 사면이다. 이 곳은 그 층의 상부에 성형되어지는 층의 하중과 수지의 점성 등의 영향으로 성형 중의 엘리베이터의 상하운동시 처짐이나 붕괴가 발생할 수 있는 지역이다. Fig. 3(b)는 두 번째 경우로서, 층별로 성형을 하는 도중에 이전에는 없었던, 어떤 다른 폐곡선에도 속하지 않는 2차원 단면 폐곡선이

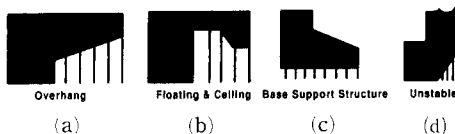


Fig. 3 Regions to be supported with support structures

갑자기 나타나는 경우이다. 이 경우, 지지대가 없다면 성형됨과 동시에 그 부분이 바닥면으로 가라앉는 현상이 발생하게 된다. 세 번째 경우인 Fig. 3(c)은 바닥면 지지대로서, 작업이 모두 끝난 후에 성형물체를 엘리베이터의 바닥면으로부터 떼어낼 때에 물체의 파손이나 변형을 방지하기 위해서 물체의 바닥면과 엘리베이터의 바닥면 사이에 위치시키는 지지대이다. 마지막으로 Fig. 3(d)는 특수한 경우로, 사면의 기하학적인 조건과 형상만으로는 지지대가 요구되지 않는 면이지만 그 면의 상부의 무게로 성형시나 후처리과정을 위해서 자외선(UV)오븐으로 이동시에 정역학적 불안정이 원인이 되어 붕괴의 가능성을 내포하는 경우이다.

본 연구에서는 전술한 세 가지 경우뿐만 아니라 Fig. 3(d)의 경우도 모두 고려하기 위해, 단지 각 facet들의 기하학적인 조건뿐만 아니라, 임의의 facet 상부에 존재하는 성형물체의 양을 정량화하여 계산한다. 이의 결과로 본 시스템은 신뢰성이 높은 지지대를 빠른 시간내에 효율적으로 정확하게 설계한다.

3.1 시스템의 구성

SLA로 물체를 성형하기 위해서는 이에 앞서서

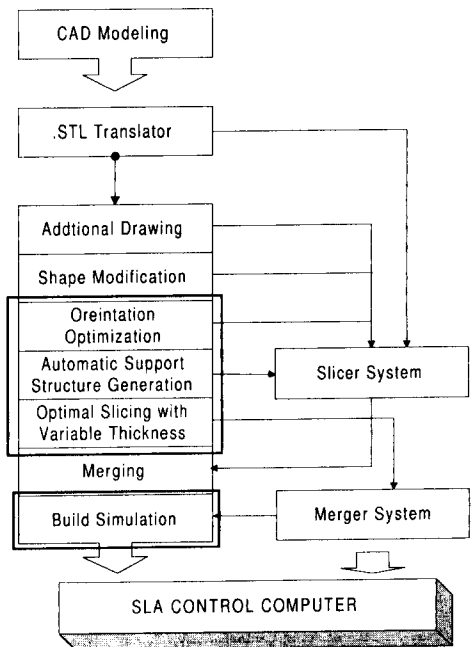


Fig. 4 SLA CAD process

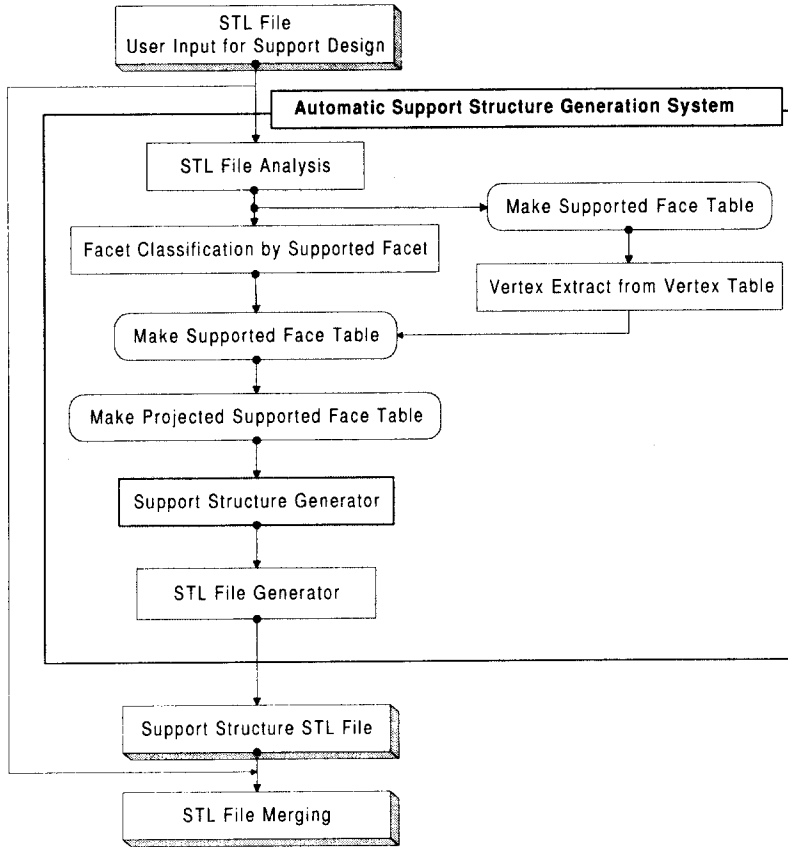


Fig. 5 Structure of automatic support structure generation system

그 중요성에 있어서 전체 공정중의 상당부분을 차지하는 CAD 작업을 거쳐야 한다. Fig. 4에는 SLA를 위한 CAD 시스템의 구성을 도식화하였으며, 이 중에서 지지대를 설계하는 과정은 성형공정의 효율성과 성형 정확도와 관련하여 매우 중요한 부분이다.

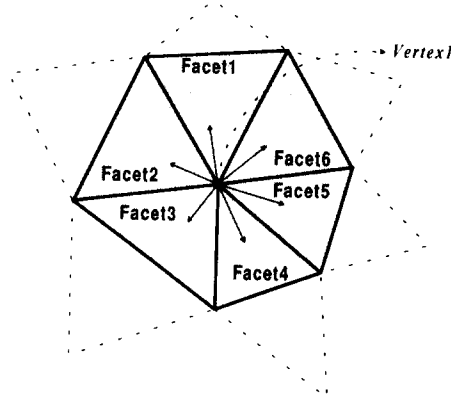
Fig. 5는 본 연구에서 제안하는 지지대 자동 설계 시스템의 구성도이다. 사용자에 의해 임의로 결정되었거나, 특정요소에 대하여 최적화된 성형방향을 가지는 물체의 STL 화일과 지지대 생성을 위한 사용자 입력을 바탕으로 지지대를 자동설계하여 지지대의 STL 화일을 생성한다.

3.2 지지대 생성을 위한 입력

지지대의 생성을 위해서는 특정 성형방향을 가지는 STL 화일 외에도 사용자의 입력이 요구된다. 아래 정리된 내용은 본 시스템에서 요구하는 사용

자 입력의 내용들이다.

- 지지대가 요구되는 면을 결정하기 위한 변수
 - (1) 지지대가 요구되는 사면의 양의 Z축으로부터의 최소 각도.
 - (2) 광경화 물질이 지지대없이 스스로 지탱할 수 있는 면의 최대 넓이.
- 지지대의 형태를 결정하기 위한 변수
 - (1) 단일 기둥형 지지대(point support structure) 혹은 덧붙임판형 지지대(gusset support structure)가 허용되는 면의 최대 넓이.
 - (2) 덧붙임판 형태 지지대가 허용되는 물체로부터 바깥쪽 방향으로 뻗어나간 거리.
 - (3) 격자형 지지대(web support structure)의 격자망의 최대 넓이.
 - (4) 지지대가 성형물체속으로 박히는 깊이(zoffset).
 - (5) 각 지지대의 형상을 결정하는 형상결정 변수.



Vertex	Position	Pointer of Parent Facet Array
<i>Vertex1</i>	(x_1, y_1, z_1)	<i>Facet1, Facet2, Facet3,...</i>
:	:	:

Fig. 6 Making vertex table

3.3 지지대 생성을 위한 자료구조

입력된 STL 화일을 바탕으로 지지대 생성의 기초가 되는 자료구조를 아래와 같이 구성한다. 먼저 모든 facet에 대하여 기하학적 정보와 지지대의 필요성 조사 후 결정될 플래그(flag)를 가지는 아래의 자료구조 'Facet'를 구성한다.

또한 이를 기반으로 물체를 구성하는 모든 점들에 관한 기하학적 정보와 위상학적 정보를 가지고 있는 꼭지점 테이블(vertex table)의 구성이 요구된다. Fig. 6과 같이 각 꼭지점의 3차원 좌표값과 각 임의의 꼭지점에 연결되어 있는 모든 facet의 리스트가 꼭지점 테이블의 내용이다.

전술한 두 자료구조는 앞으로 전술하게 될 지지대 자동설계 알고리즘의 기반을 이루는 데이터로서 매우 중요하다.

3.4 지지대가 요구되는 면의 결정

3.4.1 사면의 각도에 따른 지지대의 필요성 결정

Fig. 3(a), (b)의 경우에 지지대를 설계하기 위하여 임의의 성형방향에서, 모델을 이루는 모든 facet의 법선벡터를 조사하여, facet이 양의 Z축(성형방향)과 이루는 각이 사용자로부터 입력받은 한계값을 초과하는 facet에 대해서, 그에 해당하는 'Facet' 자료구조의 요소중의 'Support_Flag'를 'ON'으로 지정한다.

3.4.2 바닥면 지지대의 설계 유무의 결정

전술한 바와 같이, 성형 후에 물체를 엘리베이터로부터 분리해 내는 작업을 용이하게 하기 위하여 바닥면 지지대(base support structure)가 요구된다. 바닥면 지지대는 Fig. 3(c)와 같이 실제로 엘리베이터의 바닥면과 직접적으로 접촉하고 있는 물체상의 면에 요구되어진다. 따라서 모든 facet의 각 꼭지점의 좌표값과 법선벡터의 값을 조사하여 법선벡터의 x, y성분이 0이고 모든 꼭지점의 z좌표 값이 0(물체의 성형방향이 +Z축 방향)인 facet에 대하여, 그에 해당하는 'Facet' 자료구조의 요소중의 'Base_Support_Flag'를 'ON'으로 지정한다.

3.4.3 정역학적 안정성에 따른 지지대의 필요성 결정

지지대 설계의 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위하여, Fig. 3(d)의 경우를 지지대 설계의 범주 안에 넣고자 한다. 이 경우는, 각각의 면의 기하학적인 정보로부터는 지지대의 유무를 판단할 수 없기 때문에 실제로 facet모델의 무게중심을 구하여 전체 모델의 안정도를 판단하고자 한다. 즉, Fig. 7에서와 같이 모델의 무게중심을 계산하여⁽¹⁰⁾ 이를 바닥면에 투영시킨다. 기존에 생성된 지지대 중에서 바닥면과 연결된 지지대와 접촉하는 모든 facet을 바닥면에 투영시켜서 이 다각형들을 둘러싸는

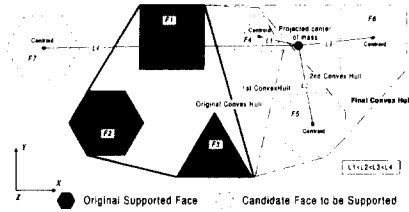


Fig. 7 Construction of support structure for part stability

볼록다각형(convex hull)을 구한다. 만약 투영된 무게 중심이 이 볼록다각형 내에 있지 않은 경우에는 모델의 각 facet의 법선벡터가 바닥면을 향하고 아래방향에 따른 facet이 있지 않은 facet을 후보 facet으로 하여 이들을 바닥면에 투영시킨다. 이들 중에 투영된 무게중심과의 거리가 가까운 면부터 우선적으로 앞에서 생성된 볼록다각형에 첨가시켜 가며 볼록다각형을 새로이 생성한다. 이러한 과정을 투영된 무게중심이 변화되어 가는 볼록다각형 내에 들어올 때까지 수행한 후 종료한다. 이 과정에서 새롭게 선택된 면을 구성하는 facet에 대하여, 그에 해당하는 ‘Facet’ 자료구조의 요소중의 ‘Support_Flag’를 ‘ON’으로 지정한다.

3.5 지지대가 요구되는 면 테이블의 구성

3.5.1 근접 Facet 찾기

지지대가 요구되는 위치를 facet 단위로 결정할 후에는 이들을 서로 근접해 있는 facet끼리 모아 면 단위로 다시 자료구조를 구성하는 과정이 필요하다.

Fig. 8에서 facet ‘F1’과 모서리 ‘E1’에서 접촉하고 있는 근접 facet ‘F2’를 전술했던 꼭지점 테이블로부터 찾아내는 알고리즘에 대하여 알아보자. 먼저 모서리 E1을 이루는 양 끝점 ‘Vertex1’과 ‘Vertex2’를 결정한다. 그 다음, Vertex1과 Vertex2에 해당하는 기하학적 정보⁹⁾와 위상학적 정보를 꼭지점 테이블로부터 찾는다. 꼭지점 테이블에는 각 꼭지점의 3차원 좌표값과 각 꼭지점에 연결된 모든 facet들이 리스트의 형태로 담겨져 있다. 따라서 다음의 과정으로 F1의 근접 facet인 F2를 찾아낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Vertex 1_Facetlist} &= \{F1, F2, F4, \dots\} \\ \text{Vertex 2_Facetlist} &= \{F1, F2, F4, \dots\} \\ \therefore F1 \text{의 모서리 } E1 \text{에 맞닿은 facet} \end{aligned}$$

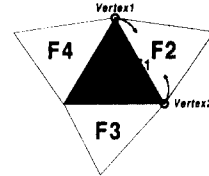


Fig. 8 Find a adjacent facet

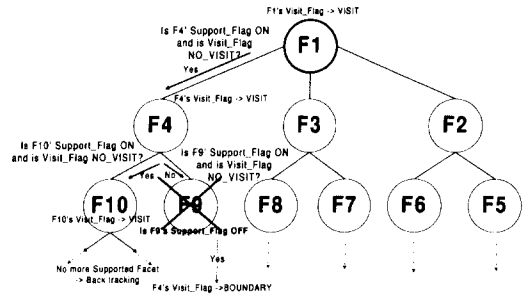


Fig. 9 Tree structure of supported face table

$$\begin{aligned} &= \{\text{Vertex1_Facetlist} \cap \text{Vertex2_Facetlist}\} - \{F1\} \\ &= F2 \end{aligned}$$

3.5.2 지지대가 요구되는 Facet들을 면단위로 재구성

면단위 자료구조 구성을 위한 트리(tree)구조

지지대가 요구되는 facet들을 서로 연결되어 있는 것끼리 묶어 면 자료구조를 구성하여 면단위로 지지대를 설계한다. 전술한 근접 facet을 찾는 알고리즘을 기반으로 하여 ‘Facet’ 자료구조의 요소중의 Support_Flag가 ON이고 Visit_Flag가 NO VISIT인 임의의 facet을 시작 facet으로 하여 트리구조의 형태로 Fig. 9와 같이 전파시켜 면 테이블(supported face table)을 구성한다.

지지대가 요구되는 면을 구성하기 위한 facet을 전파시키는 알고리즘은 다음과 같다. 시작 facet의 Support_Flag를 VISIT로 지정하고 면테이블(face table)에 등록한 후, 임의의 한 모서리 방향으로 근접 facet을 조사한다. 근접 facet의 Support_Flag가 ON이고 Visit_Flag가 NO_VISIT 상태이면 면테이블에 그 facet을 등록하고 Visit_Flag를 VISIT로 지정한 후 계속 근접 facet을 조사한다. 더 이상 근접 facet의 flag에 ON과 NO_VISIT인 것이 없으면, 그 facet의 Visit_Flag를 ‘BOUNDARY’로 지정하고 트리구조를 거슬러 올라가 분기가 처음 시작된 facet에서 다시 다른 방향으로 전

파를 시작한다. 이와 같은 과정을 통하여 지지대가 필요한 1개의 면이 면 테이블에 등록이 되면, 또 다른 면을 구성하기 위해 facet 중에 Support Flag가 ON이고 Visit_Flag가 NO_VISIT인 임의의 facet을 시작 facet으로 하여 위의 과정을 되풀이 한다.

3.5.3 면 테이블 자료구조 구성

전술한 방법에 의하여 결정된, 지지대가 필요한 면들은 차례로 면 테이블에 채워지게 된다. 면테이블은 각 면을 구성하는 facet들을 리스트의 형태로 가지고 있다. 면 테이블 외에도 이들을 구성하는 facet들을 엘리베이터의 바닥면에 투영시킨 facet들로 구성된 '투영 면 테이블(projected supported face table)'을 구성한다. Fig. 10에는 투영 면 테이블의 자료구조가 도식화되어 있다.

면경계의 도출

싱형물체의 형상을 정확히 반영한 지지대의 설계를 위하여 각 지지대에 의해 지탱되어지는 면의 경계를 찾아내야 한다. 경계에는 외부경계(outer

boundary)와 구멍경계(Hole boundary)가 있는데 이를 구분해 내는 방법에는 약간의 방법상의 차이가 있다.

외부 경계의 도출

바다면에 투영된 지지대가 요구되는 면을 둘러싸는 최소크기 직사각형(bounding box)을 구하여 경계 꼭지점을 따라가며 경계 다각형을 찾기위한 시작점을 찾는다. 그 후 그 꼭지점에 연결된 모든 모서리를 꼭지점 테이블에서 찾아내어 그 중 Fig. 11에서와 같이 left-most한 모서리를 순차적으로 찾아 나간다. 찾아낸 모든 경계점들은 점리스트(vertex list)의 형태로, Fig. 10과 같은 투영 면 테이블에 기록된다. 외부경계가 결정되면 각 경계 모서리가 속해있는 facet들의 Visit_Flag를 BOUNDARY에서 VISIT로 바꾼다. 이는 후에 결정해야 할 구멍경계 결정을 위해서이다.

면내부의 구멍경계의 도출

면내에 구멍이 있을 경우에는 위의 방법으로는 경계점 조사가 어렵다. 따라서 이 때에는 이전에 면 테이블을 만들 때 각 경계 facet에 기록했던 Visit_Flag를 이용한다. 즉, 면의 구멍경계를 이루는 facet 중에 한 개 이상은 그 facet에 해당하는 자료구조 'Facet'의 Visit_Flag가 BOUNDARY로 지정되어 있다. 따라서 각 face에 속해있는 모든 facet을 조사하여 Visit_Flag가 BOUNDARY인 임의의 한 개 facet을 찾아낸다. 이곳에서 출발하여 구멍의 경계 모서리를 Fig. 12와 같은 방법으로 찾아내며, 한번 방문했던 facet은 Visit_Flag를 VISIT로 지정한다.

상술하면 다음과 같다. 시작 facet을 결정한 후 새 개의 모서리에 붙어 있는 근접 facet을 조사하여 근접 facet이 없는 모서리를 구멍경계의 첫 시작 두 꼭지점으로 투영 면 테이블에 등록한 후

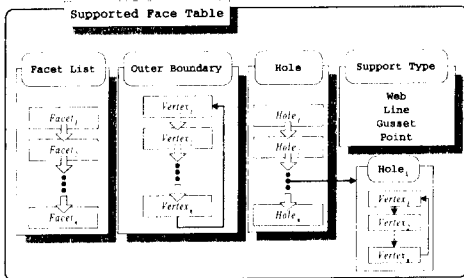


Fig. 10 Data structure of projected supported face table

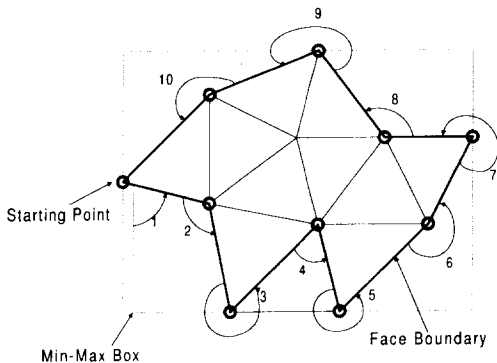


Fig. 11 Classification of outer boundary edges

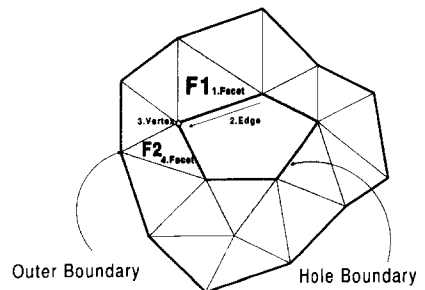


Fig. 12 Hole boundary classification

facet F1의 Visit_Flag를 VISIT로 지정한다. 그 다음, 확인된 경계의 마지막 꼭지점에 연결된 모든 facet을 꼭지점 테이블로부터 조사하여 Visit_Flag가 VOUNDARY인 facet에서 앞의 과정을 되풀이하여 모든 구멍경계를 찾아낸 후 투영면 테이블에 등록한다.

3.6 면 테이블의 필터링(Filtering)

전술한 방법으로 구성된 각각의 면의 면적을 계산하여 그 면적이 사용자가 입력한 광경화 물질이 지지대 없이 스스로 지탱할 수 있는 면의 최대 넓이 보다 작은 면들을 골라내어 이와 같은 불필요한 작은 면들을 면 테이블로부터 삭제한다.

3.7 지지대 형태의 결정

면 테이블이 완성이 된 후에 각 면에 적합한 지지대를 결정하고 자동생성하는 과정이 남아 있다. Fig. 13에는 본 연구에서 지원하는 지지대의 종류가 도시되어 있다. 각 면의 면적과 형상을 기준으로 다음의 과정을 거쳐 Fig. 14와 같이 지지대의 종류를 결정한다. 먼저, 지지대가 요구되는 각 면의 면적을 조사하여 그 값이 사용자가 입력한 단일 기둥형 지지대 혹은 덧붙임판형 지지대가 허용되는 면적의 상한값보다 작고 지지대가 필요치 않는 면적의 상한값보다 큰 면에 대해서 단일기둥형 지지

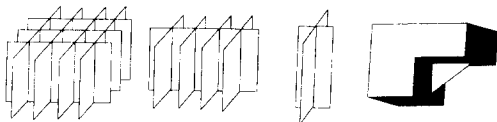
대 혹은 덧붙임판형 지지대를 생성한다. 나머지 면들에 대하여 격자형 지지대를 생성하고, 이 과정에서 격자형 지지대를 생성하기에 그 형상이 너무 좁은 경우에는 선형 지지대(line support structure)를 생성한다.

3.8 지지대 STL 화일의 생성

3.8.1 격자형 지지대와 선형 지지대

임의의 격자형 지지대가 요구되는 면에 대해서 이 면을 바닥면에 투영시킨 면을 기준으로 지지대를 설계한다.

Fig. 15에서 보는 바와 같이, 면을 둘러싸는 직사각형의 격자망을 생성한 후 면의 내부에 있는 격자망의 교차점들을 찾아낸다. 이 점들을 원래의 면으로 다시 투영하여 이 점들을 기준으로 지지대를 위한 STL 화일을 생성한다. 특히, 견고한 지지대의 설계를 위해서 면의 경계에도 사용자의 선택에



(a) Web (b) Line (c) Point (b) Gusset
Fig. 13 Support structure types in this system

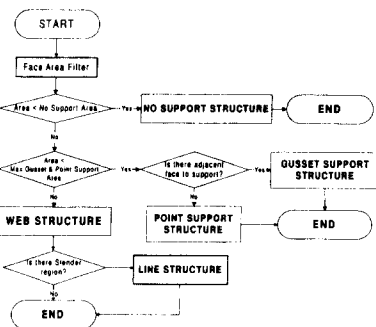


Fig. 14 Flowchart for determination of support structure type

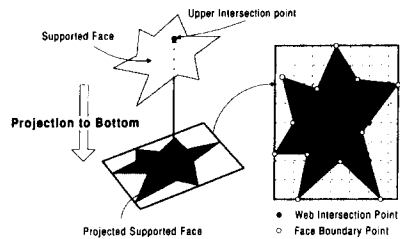


Fig. 15 Web support structure generation

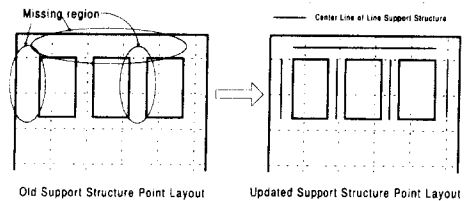


Fig. 16 Line support structure generation

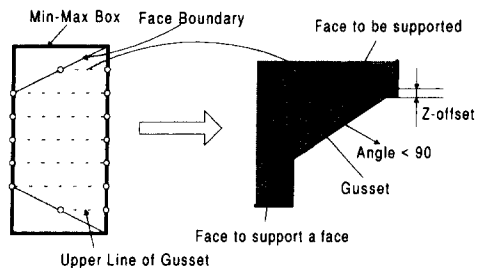


Fig. 17 Gusset structure generation

의해 지지대를 세울 수 있도록 경계점들도 지지대의 자료구조에 포함시켰다.

만약 격자형 지지대의 생성 중에 Fig. 16과 같은 격자망의 너비보다 작은 지역이 발견될 때에는 선형 지지대를 생성한다.

3.8.2 단일기둥형 지지대와 덧붙임판형 지지대

단일기둥형 지지대의 경우는 생성방법이 격자형 지지대와 모두 동일하나 격자망의 교차점이 면의 무게중심에 한 개 존재한다는 점만 다르다. 덧붙임판형 지지대의 경우는 지지대가 필요한 면의 경계

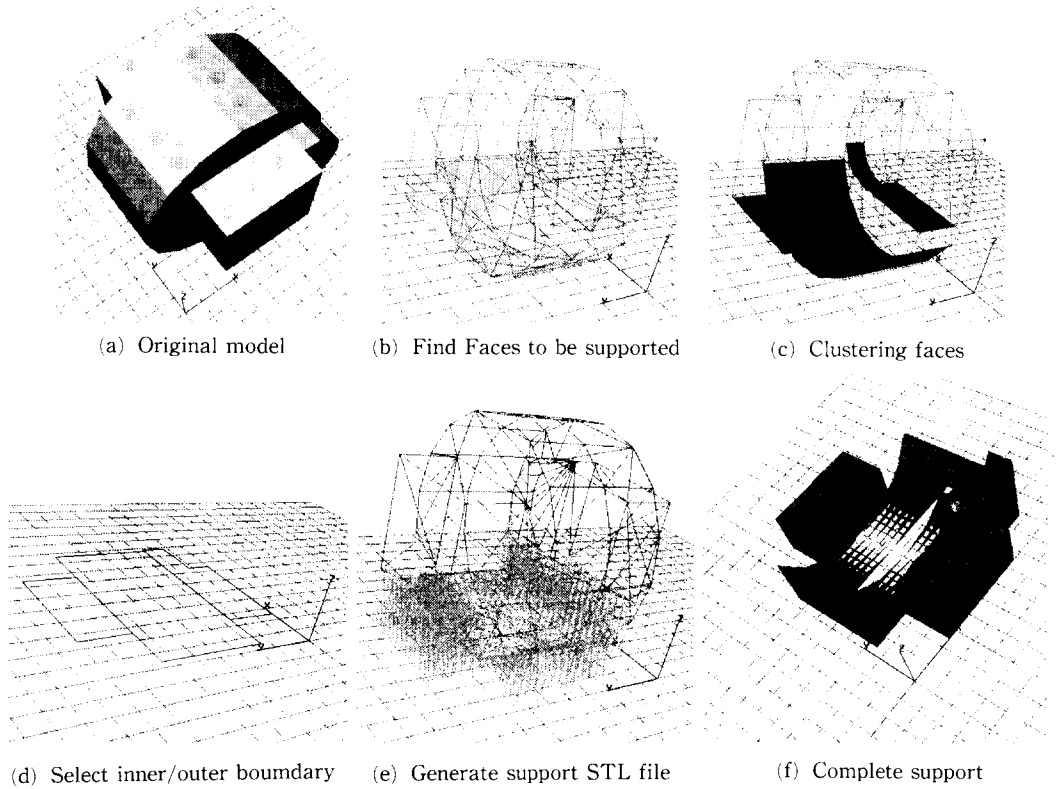


Fig. 18 Procedure of automatic support structure generation

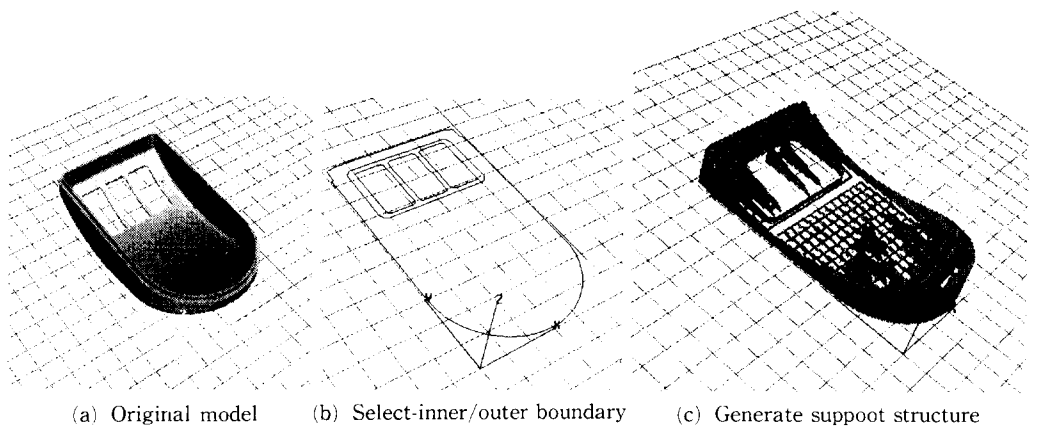


Fig. 19 Result of support structure generation

모서리에 인접한 모든 facet을 조사하여 면과 이루는 각이 예각인 facet이 존재할 경우에 이 facet이 속한 면과 덧붙임판형 지지대므로, 연결한다. 즉 덧붙임판형 지지대의 경우는 Fig. 17과 같이 지지대가 요구되는 면을 둘러싸는 최소크기 직사각형(bounding box)의 짧은 변방향으로 직선을 형성하고 이미 결정된, 지지할 면과 삼각형을 구성하여 덧붙임판형 지지대를 설계한다.

4. 적용 예

Fig. 18은 임의의 모델에 대하여 지지대를 설계하는 절차를 실제로 적용시킨 결과로 보인 예이며, Fig. 19은 컴퓨터 마우스 모델에 대하여 본 시스템을 이용하여 지지대를 생성한 결과이다. 생성된 지지대는 면의 경계에도 지지대를 설계한 결과이며 모두 STL 화일의 형식을 따르고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 광조형 시스템을 위한 CAD 환경 구축의 일환으로 임의의 성형방향에 대한 지지대를 자동 설계하는 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 간단한 데이터구조와 효과적인 알고리즘을 통해 신속하면서도 정확히 지지대를 자동설계한다. 물체상의 지지대가 요구되는 부분을 검색한 후, 각 부분의 기하학적 조건을 정확히 반영하는 지지대를 생성한다. 또한 물체의 형상을 최대한 고려한 지지대의 설계를 위하여 고유의 자료구조를 구성하고 모든 종류의 지지대를 사용하였으며 성형시간의 단축을 위하여 구멍(hole) 부분에는 지지대를 설계하지 않았다. 그리고 지지대가 요구되는 면을 찾는 과정에서, 면의 기하학적인 조건뿐만 아니라, 물체의 정역학적인 안정성도 동시에 고려하여 성형 도중이나 후처리과정시에 발생할 수 있는 붕괴를 방지하였다. 향후 연구 과제로서 후처리과정시 지지대를 분리해 내는 작업을 좀 더 용이하게 하도록 실제의 성형실험의 반복을 통해 지지대의 형상을 개발해 내는 등의 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 서울대학교 터보·동력기계연구센터의 지원하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Proceedings of SIGGRAPH 93, 1993, Anaheim, California, Aug 1-6, pp. 377~378.
- (2) Ashley, S., 1991, "Rapid Prototyping Systems," *Mechanical Engineering* Vol. 113, No. 4, pp. 34~43.
- (3) Paul F. Jacobs, 1992, "Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of StereoLithography," Society of Manufacturing Engineers, 1st Ed.
- (4) Allen, S. and Dutta, D., 1994, "On the Computation of Part Orientation Using Support Structures in Layered Manufacturing," *Report No. UM-MEAM-94-15*, July.
- (5) Kirschman, C.F. Namboodri, C. Jara-Almonte, C.C. Bagchi, A. Dooley, R.L. and, Ogale, A.A. 1992, "Stereolithographic Support Structure Design for Rapid Prototyping," *The Third International Conference on Rapid Prototyping*.
- (6) Allen, S. and Dutta, D., 1994, "On the Computation of Part Orientation using Support Structures in Layered Manufacturing," *Report No. UM-MEAM-94-15*, July.
- (7) 백인환, 김준안, 한창국, 1995, "STL 화일을 이용한 Support Algorithm에 관한 연구," 한국정밀공학회, 1995년 춘계학술대회 논문집, pp. 164~168.
- (8) Kirschman, C.F. Jara-Almonte, C.C. Bagchi, A. Dooley, R.L. and Ogale, A.A. "Computer Aided Design of Support Structures for Stereolithographic Component,"
- (9) Douglas W., Victor G., and Constantin C., 1994, "Computer-Aided Support Structure Design for Stereolithography Model," *The Fifth International Conference on Rapid Prototyping*, pp. 221~228.
- (10) Y. Lee, 1991, "Calculation of Mass Property in a 3-D Facet Model," Undergraduate Dissertation, Feb.
- (11) Guide to MAGICS 3.0, 1994, mATERIALISE N.V.
- (12) SLA-500 User Reference Manual, 3D Sys-

- tems, Inc.
- (13) Kochan, D., 1993, Solid Freeform Manufacturing, *Advanced Rapid Prototyping*.
- (14) 허정훈, 이건우, 1995, "SLA를 이용한 신속 시삭 작업에서 최적성형방향의 결정," 한국정밀 공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 552~558.
- (15) Junghoon Hur, Kunwoo Lee, 1995, "Determination of Optimal Part Orientation for Stereolithographic Rapid Prototyping," Preprint.
- (16) Kunwoo Lee, Junghoon Hur and Giniung Kim, 1995, "Computing Environment to Determine Optimal Part Orientation for Stereolithographic Rapid Prototyping," Joint Australia-Korea Workshop on Manufacturing Technology.