

3차원 충돌탐지 알고리즘을 이용한 광조형물의 최적배치 알고리즘 개발

김호찬* · 김부영* · 이석희**

(2003년 2월 21일 접수, 2003년 7월 14일 심사완료)

Layout Planning for Stereolithography Parts using 3D Collision Detection Algorithm

Ho-Chan Kim, Boo-Young Kim and Seok-Hee Lee

Key Words: Layout(배치), SLA System(광조형장치), Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), BV Tree(BV 트리), k-DOPs Tree(k-DOPs 트리)

Abstract

Efficient layout in a fixed work volume reduces build time when multiple parts are built at once in stereolithography systems. An efficient algorithm is developed for 3D layout planning. And it reduces build time and increases efficiency of SLA system. Genetic algorithm is implemented to locate as many parts as possible in the fixed work volume. A 3D collision detection algorithm, k-DOPs Tree, is implemented for the fast evaluation of a layout plan,

1. 서론

1.1 연구배경

제품의 수명주기가 짧아지고 다품종 소량생산이 요구되어 신제품의 개발기간이 단축되어야 하는 추세에 따라 시작품 제작에 있어서 쾌속조형장치가 활용되고 있다.^[1] 이러한 쾌속조형장치는 LMT(Layered Manufacturing Technologies)의 적층조형기법을 이용하여 전문가에 의한 별도의 부가적 작업 없이 CAD데이터로부터 직접 3차원적인 부품을 제작하는 것이 가능하다. 이것은 3차원 평상정보를 얇은 층의 2차원 단면 정보들로 변환하여 각 층을 제작하여 쌓아 붙여 가는 기술이

다.

쾌속조형기술은 절삭가공이 대부분 한 공정에 하나의 부품을 가공하는 것과는 달리 여러 개의 부품을 동시에 제작할 수 있는 특징이 있다. 또한 쾌속조형 장치는 매우 고가이므로 장비의 효율성을 높이기 위해서는 가능하면 많은 부품을 동시에 제작하는 것이 효율적이다. 따라서 쾌속조형에서는 작업공간에 성형될 조형물을 효과적으로 배치함으로써 성형시간을 줄일 수 있어 장비의 효율을 증대시킬 수 있다. 즉, 작업자가 조형물의 형상정보를 조형물이 성형될 공간에 조형물 사이의 빈 공간을 최소화 하면서 배치 또는 패키징함으로써 장비효율을 증대시키는 장점을 가질 수 있다. 이는 곧 제품의 전체 가공시간을 단축시키는 효과를 가지며, 결국 비용 절감의 효과를 가지게 된다. 이에 본 연구에서는 지지대가 필요한 쾌속조형 장비에 대해 효과적인 배치를 할 수 있는 자동배치알고리즘을 개발하는 것을 목표로 한다.

적층조형기법 중 공정 특성상 지지대가 필요한 SLA, FDM 등은 적층진행 방향인 Z 방향으로 조

* 책임저자, 회원, 영남대학교 기계공학부
E-mail : hchakim@pnu.edu
TEL : (051)510-1476 FAX : (051)514-0685
* 부산대학교 일반대학원 지능기계공학과
** 회원, 부산대학교 기계공학과

형물을 쌓은 경우에는 지지대와 조형물이 겹치게 되어 조형물의 표면이 더욱 거칠어지므로 Z 방향으로 여러 조형물을 쌓는 패키징보다는 지지대가 생성될 부분에 조형물이 위치하지 않을 적절한 배치가 요구된다.

기존의 조형물 배치방법은 전문가의 경험에 의하거나 상용프로그램을 이용해 왔는데 이는 시간이 많이 걸리거나 최적의 해를 찾는데 실패하는 경우가 많았다. 또한 기존의 상업용 자동배치프로그램은 수행속도를 높이기 위해 조형물의 구체적 형상을 고려치 않고 단순화된 Bounding Box에만 의존해서 배치하는 경우가 많아 육안으로 보기에라도 더 효과적인 배치를 할 수 있는 공간이 충분함에도 불구하고 적절한 배치를 찾지 못할 경우가 매우 많다.

따라서 본 연구는 조형물을 자동으로 배치하기 위해 3차원 조형물 형상을 서로간의 충돌탐지가 용이하도록 나타내었으며, 계층적 구조를 가지고 있는 BV-Tree(Bounding Volume Tree)중 가장 탐색능이 우수하다고 알려진 k-DOP Tree(Discrete Orientation Polytope Tree)⁽¹⁾를 사용하여 근사적으로 나타내었다. 또한, 최적 해를 찾기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였으며 각 배치의 안을 유전자로 코딩하는 기법과 개발된 유전자를 위한 유선연산 알고리즘을 개발하였다.

1.2 연구 동향

3차원 충돌탐지 알고리즘은 가상현실이나 로봇의 이동경로 탐색, 무인운반차 등에 적용하기 위해 많이 연구 되었고, 2차원 물체의 배치에 대한 연구는 원료의 효과적인 분할이나 소자의 배치 등에 사용하기 위해 많은 연구가 이루어져 왔으나 3차원 충돌탐지를 이용한 부품의 배치 최적화에 대한 연구는 많지 않았다.

Shian-Miin Hwang 등은 2차원 공간에서 사각형의 배치문제에 유전자 알고리즘을 사용했다⁽²⁾. 유전자를 나타내는 방식에는 두 파트와 그들의 배치관계를 나타내는 두 가지 연산자를 사용하고 파트와 연산자를 임의로 생성하고 올바르게 않은 유전자를 수정하는 알고리즘을 제시해서 패키징 면적의 최소화, 사용된 통(bin) 수의 최소화와 스트립 패키징 높이의 최소화에 대한 실험을 하고 일련의 유전자 알고리즘의 성능을 테스트 했다. 또한

C. Pimpawat 등은 3차원 상자들을 층으로 나누어서 적재하고 각 층마다 적재 순서를 정함에 있어서 협력공진화 유전자 알고리즘 안의 특정 멤버들로 나타내었다.⁽³⁾ Ugur Dogrusoz는 사각형의 특정한 세장비를 가진 스트립 패키징, 틸팅(Tilting)과 선택적 분할기법을 몇 가지 구속 원칙에 따라 선택적인 문제로 바꾸어서 패키징 해법을 찾고 각각을 비교하였다.⁽⁴⁾

3차원 충돌탐지에 대한 연구로써, James T. K. 등은 계층적 구조인 Bounding Volume Tree 중 k-DOPs Tree를 이용해서 모델을 나타내어 매우 짧은 시간 내에 충돌을 탐지하는 알고리즘을 개발했다.⁽⁵⁾ Gabriel Zachmann은 k-DOPs Tree의 k 수에 따른 성능비교와 OBB Tree(Oriented Bounding Box Tree)와의 성능비교를 수행하였다.⁽⁶⁾ 그 결과에 의하면 k-DOPs가 OBB-Tree나 AABB(Axis Aligned Bounding Box)보다 효과적으로 메모리를 사용할 수 있으며 더 빨리 tree를 생성할 수 있으며 k수가 높음에 따라 형상은 더 자세히 표현할 수 있으나 연산시간이나 tree 생성 시간에는 거대한 차이를 두지 않음을 밝혔다.

쾌속조형을 위한 배치 알고리즘에 대한 연구는 2차원 평상의 배치방법의 응용이나 조형물 형상을 근사적으로 표현해서 충돌을 검사하는 방법 등이 연구되어 왔다. 허성민 등은 복셀을 이용해서 3차원 물체들을 SLS에서 자동적인 조형자세 및 배치를 유전자 알고리즘을 통해서 결정하는 연구를 수행하였다.⁽⁷⁾ 이 연구에서 3차원 물체를 복셀을 이용해서 근사적으로 나타내고 성형공간에 배치하였으며 유전자 알고리즘을 이용해서 최적 해를 탐색했다. 또한, 허정훈 등은 2차원 단면 데이터를 이용한 3차원 물체의 최적 자동배치를 위한 알고리즘을 개발했다.⁽⁸⁾ 이 연구에서는 STL 형식의 조형물 데이터를 단면 데이터로 변환 후에 각 층마다 No-Fit-Polygon을 이용해서 조형물을 성형공간에 배치하는 집합 중에 적합한 것을 유전자 알고리즘을 이용해서 구했다. 복셀이나 단면 데이터 등으로 3차원 형상을 표현했을 경우에는 비교적 오랜 연산을 필요로 하며, 한 물체의 구멍에 다른 물체가 삽입되어 분리되지 않는 오류가 발생했다.

2. 3차원 형상의 근사화와 충돌탐지

적층조형시스템에서 성형시간은 성형물의 성형 방향 높이에 의해 좌우된다. 즉, 부품을 동시에 제작할 경우, 새로운 층에 대한 작업 준비 시간이 조형물의 개수와 관계없이 가장 높이가 높은 부품에 의하여 결정된다. 따라서 여러 부품을 동시에 성형할 경우에는 여러 번의 성형에 따른 전체 성형시간을 줄일 수도 있고 그로 인한 새로운 층에 대한 준비시간이 절약된다.

부품의 배치는 각 부품별 최적 성형방향이 결정된 이후에 수행되어야 한다.⁽⁹⁾ 성형방향은 각 조형물의 형상 특징에 따라 결정되어 Z축에 대한 회전단이 가능하며 성형을 위한 지지대는 각 부품이 배치된 이후에 생성한다.

조형물을 성형공간에 겹침 없이 배치하기 위해 조형물간의 충돌을 탐지해야 할 필요가 있다. 이때 임의의 형상을 가진 조형물 사이에서 빠른 충돌탐지를 위해서는 조형물을 근사적으로 나타내어서 연산 효율을 높이는 방법을 써야 한다. 본 연구에서는 조형물의 형상을 근사적으로 나타내는 기법으로 계층적인 구조인 BV-Tree 중에서 k-DOPs를 사용했고 이를 이용해서 충돌탐지를 실행했다.

2.1 BV-Trees

Bounding Volume Trees는 특정한 boundary volume을 가지고 있는 계층적인 구조를 가지고 있는 트리이다. 하나의 물체는 나무의 가지처럼 두 개 이상의 노드로 나눌 수 있고 말단노드를 제외한 각각의 노드는 다시 두 개 이상의 노드로 나누어지는 구조를 가지고 있다.

2.1.1 k-DOPs

k-DOPs Tree는 3차원 형상을 k개의 면을 갖는 Boundary Volume을 써서 계층적인 구조를 써서 근사적으로 나타내는 방법이다. k-DOPs Tree는 Octree structure, AABB(Axis-aligned Bounding Box)와 OBB(Oriented Bounding Box) Tree보다 성능이 우수하다고 알려져 있다. Fig. 1은 AABB와 OBB를 k-DOP와 비교하는 그림이다. (a)는 AABB로 미리 정해진 축을 따라 경계를 가지는 상자로 3차원에서 보면 6-DOP에 해당한다.

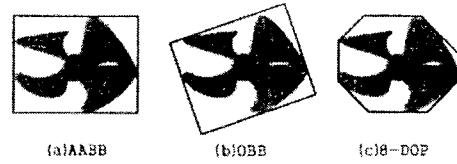


Fig. 1 Approximation of an object by three types of bounding area

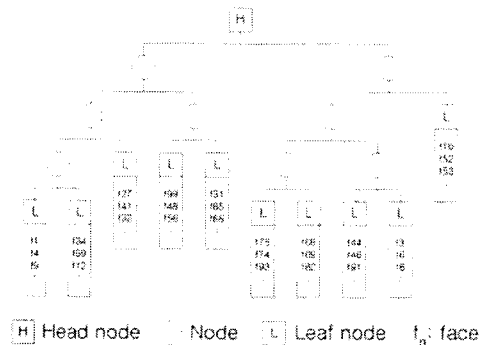


Fig. 2 Binary k-DOPs Tree

(b)는 OBB로 방향이 있는 경계상자이다. (c)는 평면에서 8개의 경계방향을 가지는 8-DOP이다. 본 연구에서는 3차원 STL 모델을 14방향을 가지는 14-DOP Tree를 이용하여 근사적으로 나타내어 연산 속도와 메모리의 낭비를 줄이면서 정확히 충돌을 탐지할 수 있는 효과적인 방법을 택했다.

k-DOPs Tree는 3차원 물체의 bounding volume을 k개의 면을 갖는 다면체로 나타내고, 이것을 다시 Fig. 2과 같이 2개 이상으로 분할하여 형상을 표현하는 계층적인 구조를 가진다.

Fig. 2는 2진 k-DOPs의 구조를 나타낸다. 하나의 물체를 나타낼 때, 그림과 같이 최초의 헤드 노드(root node)를 두 개로 나누며 이를 말단노드(leaf node)가 될 때까지 각각 두 개로 나누는 구조이다. 더 이상 나누어지지 않는 말단노드는 몇 개의 면(facet)을 가지고 있다. Bounding Volume을 가지고 있으면서 Fig. 3의 Drill형상의 조형물을 Fig. 2의 2진 구조의 6-DOP와 14-DOP를 통해서 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 근사적인 방식으로 도시하였으며 단계에 따라 2진 6-DOP, 14-DOP로, 나누는 단계에 따라 (a)Level 0에서부터 (d)Level 3에 까지 나타내었다. 단계가 올라갈수록 실제 형상의 조형물과 더 많이 비슷하다.

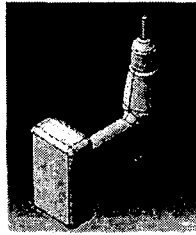


Fig. 3 CAD model of a hand-drill

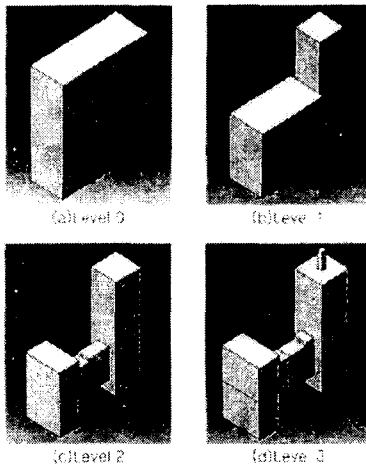


Fig. 4 6-DOPs by the level of hierarchy

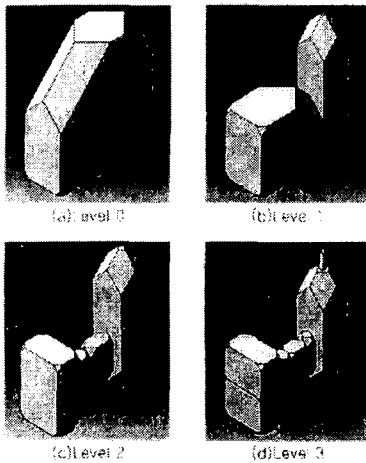


Fig. 5 14-DOPs by the level of hierarchy

2.1.2 계층의 깊이

k-DOPs Tree는 형상데이터를 근사화한 것이므로 계층이 깊어질수록 원래의 형상데이터와 근접하게 된다. 하지만 계층을 깊이 할수록 연산 효



Fig. 6 Regeneration of 8-DOP bounding polytope

율은 떨어지므로 계층의 깊이를 정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 계층의 깊이를 현재 사용되고 있는 계속조형잡비의 조형정밀도에 준해서 선택했으며 연산의 효율을 증가시키기 위해 말단 노드의 면의 수가 10개 이하로 남을 때까지로 정하였다.

2.2 충돌탐지

k-DOPs Tree로 구현된 3차원 모델은 병진운동 시에는 각 노드의 bounding polytopes가 병진이동하지만, 회전운동이 발생할 경우에는 bounding polytopes를 다시 계산해서 생성해야 한다.

Fig. 6은 평면상의 도형에 x축의 양의 방향으로 0°~ 315° 사이에 45°씩 분할된 선들로 만든 8-DOP로 (a)에서 생성된 bounding polytopes가 20° 회전을 해서 (b)와 같이 회전했을 때 새로운 bounding polytopes를 재생성 해야 하는 것을 나타낸다. 새로운 bounding polytopes를 만드는 것은 상대적으로 많은 연산을 하게 되고 그에 따른 연산 시간이 늘어난다. 이러한 경우의 연산속도를 떨어뜨리지 않기 위한 tumbling 알고리즘이 개발되어 있다. 이 tumbling 알고리즘은 root node는 polytope를 만드는 정확한 해를 찾고 root node를 제외한 나머지 node일 경우 회전할 경우 (c)와 같이 회전하지 않은 원래의 polytope에 대해 근사적인 polytope를 생성한다. 만약 회전하는 각이 작다면 근사적으로 생성한 polytope와 원래의 오차는 매우 작다.

조형물을 근사화하는 대부분의 k-DOPs Tree를 사용한 충돌탐지에 대한 선행연구들은 이동하지 않는 물체(Environment)와 하나의 이동 가능한 물체(Flying object)를 대상으로 충돌검사를 수행하였으나, 본 연구에서는 모든 조형물이 이동가능하므로 n-body collision detection algorithm을 이용한다. 이동하는 임의의 두 노드 a와 b 사이의 충돌을 검사하는 알고리즘은 Fig. 7과 같다.

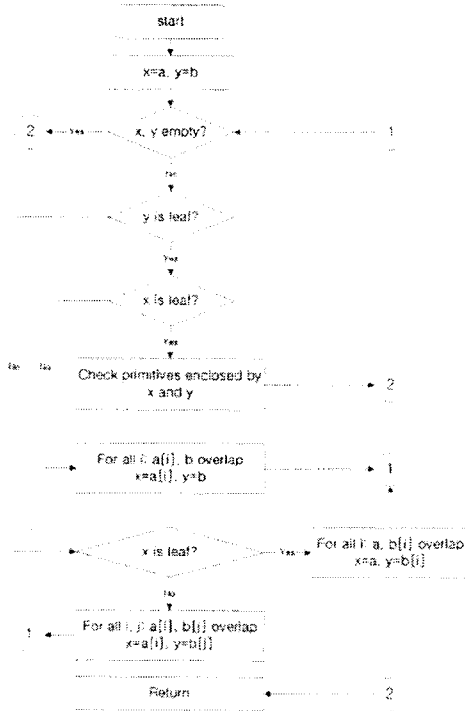


Fig. 7 Flowchart for traverse algorithm

a와 b는 각각 물체 A와 B의 BV Tree이고, a[i]와 b[i]는 각각 a와 b의 자식 노드일 때, a와 b의 교차를 탐지하는 함수는 재귀함수로 a, b의 두 파라미터를 가진다. b가 말단 노드이고 a가 말단 노드일 경우 a와 b에 의해 둘러싸인 모든 프리미티브에 대해 검사를 하며, a가 말단노드가 아닐 경우 모든 i에 대해 a[i]와 b의 교차를 탐지하는 자신의 함수를 실행한다. 또한 b가 말단 노드가 아니고 a가 말단 노드일 경우 모든 i에 대해 a와 b[i]의 교차를 탐지하는 자신의 함수를 실행하며, a도 말단 노드가 아닌 경우, 모든 i, j에 대해 a[i]와 b[j]의 교차를 탐지하는 자신의 함수를 실행한다.

3. 조형물 배치 알고리즘

광조형장치를 위한 배치에서는 보통 육면체의 성형공간(vat)안에 하나의 조형물을 특정한 위치까지 집어넣고 그 다음 조형물 접근시켜 배치해 나가는 방식으로 마지막 조형물까지 위치시킨다. 조형물의 효과적인 배치를 위해 3차원 충돌탐지

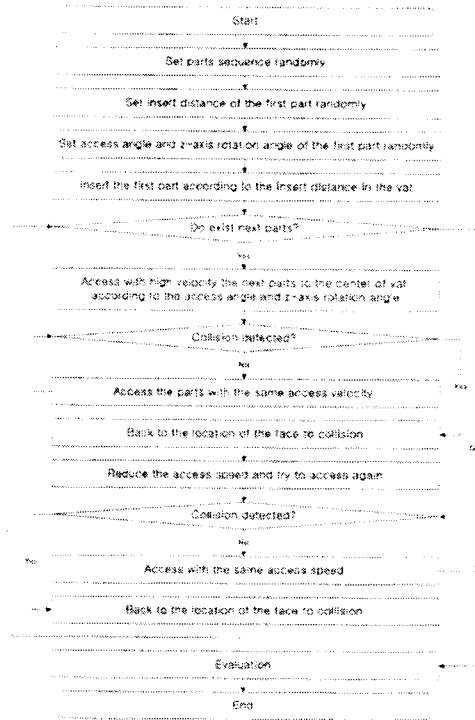


Fig. 8 Flowchart for layout algorithm

방법을 이용해서 조형물을 중첩되지 않도록 삽입하며, 성공한 배치 중 적절한 것을 찾기 위해 유전자 알고리즘을 이용했다.

3.1 광조형장치를 위한 배치 알고리즘

성형공간 안에 조형물을 하나씩 삽입하는 배치 알고리즘은 Fig. 8과 같다. 처음 삽입될 조형물을 결정하고 조형물을 성형공간 안으로 삽입할 거리를 정하고 vat의 특정 축을 기준으로 하는 접근 각도를 정한다. 정해진 Z축 회전각도와 특정 축과 이루는 각도로 정해진 거리만큼 첫 번째 조형물을 전진배치한다. 그 다음, 첫 번째 조형물이 임의로 정한 접근각도에서 임의로 정한 z축 회전각도로 임의로 정한 접근 거리만큼 vat의 중앙을 향해 접근한다. 다음 순서로 정해진 조형물이 역시 임의의 접근 각도에서 임의의 z축 회전 각도를 가지고 vat을 중앙을 향해 접근한다. 빠른 충돌 탐색을 위해 초기 접근 시에는 vat의 중앙을 향한 이동거리를 크게 한다. 바로 전의 파트가 있는 부분에 접근하고 곧 충돌하게 되면 충돌하기 직전까지의 단계의 거리만큼 다시 이동하고 접근속도를 늦추어서 접근하게 되고 다시 충돌하게 되면 충돌하기 직전의 거리까지 되돌린다. 되

돌린 거리, 즉 충돌이 있었던 조형물과의 거리는 장비의 조형 정밀도의 한계보다 크게 잡아서 형성된 후 조형물의 형상에 영향을 주지 않도록 한다. 그리고 다음 조형물도 위와 같은 방식으로 접근을 하며 마지막 조형물까지 진행한다.

3.2 유전 알고리즘

유전자 알고리즘은 유전적 계승과 다윈적 생존 경쟁이라는 자연의 현상을 모델링한 해의 확률적인 탐색방법이다.^[10] 본 연구에서는 사용될 유전자 알고리즘의 유전자 구조와 탐색방법을 각각 제시하고 해의 탐색의 안정성을 높이고 해의 수렴속도를 가속시키기 위해 정상상태 유전알고리즘을 이용했다. 정상상태 유전 알고리즘은 다음 세대를 생성할 때 교배와 돌연변이 연산을 통해 일정한 비율의 유전자를 생성하여 부모 세대에 삽입한 후에 이들 전체에서 가장 열성인 유자들을 제거하여 인구를 일정하게 유지하면서 다음 세대를 생성하는 방식으로, 부모세대와 자식세대에 중첩되는 유전자가 존재하도록 했다.

3.2.1 유전자 구조

광조형장치의 조형물 배치 알고리즘에서 임의의 값으로 지정할 변수는 조형물의 삽입 순서, 최초 조형물의 삽입 거리, 각 조형물의 삽입 각

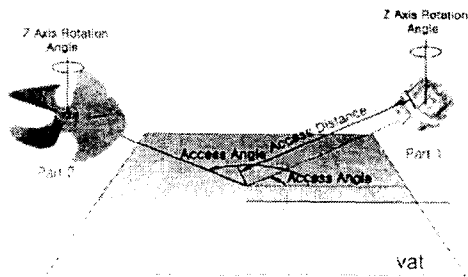


Fig. 9 Layout algorithm

Part Number	Access Angle	Z Axis Rotation Angle
45	0	78
0	0	0
0	45	3
0	111	310
...
24	175	45
248	248	41
299	299	299

Fig. 10 Chromosome encoding

도와 z축 방향의 회전 등 Fig. 9와 같이 4가지이다.

이 변수들로 구성된 유전자의 구조는 Fig. 10과 같이 2차원 구조이다.

유전자의 첫 행은 각 조형물의 번호로서 차례로 삽입순서를 나타낸다. 단, 첫 번째 유전인자는 최초 삽입할 부품의 진입거리(%)이다. 두 번째 행은 각 부품들이 진입을 시작하는 각도이고 세 번째 행은 Z축을 기준으로 회전하는 각도이다.

3.2.2 교배연산과 돌연변이연산

교배연산은 Fig. 11과 같이 두 부모유전자에서 임의의 위치를 지정하고 그 지정한 위치를 기준으로 교배시킨다. 이때 지정한 위치의 값은 임의의 값으로 대체하고 조형물의 순서를 나타내는 유전자일 경우 앞의 순서의 중복을 피하기 위해 이후에 생성된 유전자의 순서를 임의의 값을 넣어 알맞은 자식 유전자를 생성한다. 돌연변이 연산은 Fig. 12와 같이 임의의 위치에서 값을 변경하였는데, 그 값이 진입 각도나 Z축 회전 각도일 경우 값만을 임의의 값으로 변형하고 조형물의 삽입순서를 나타내는 번호일 경우 중복을 피할 수 있도록 임의의 다른 조형물의 번호를 추가로 선택하여 선택된 두 번호를 교체한다.

3.2.3 목적함수

광조형장치의 조형물 배치를 위한 알고리즘에서 필요한 목적함수는 주어진 성형공간 안에 조

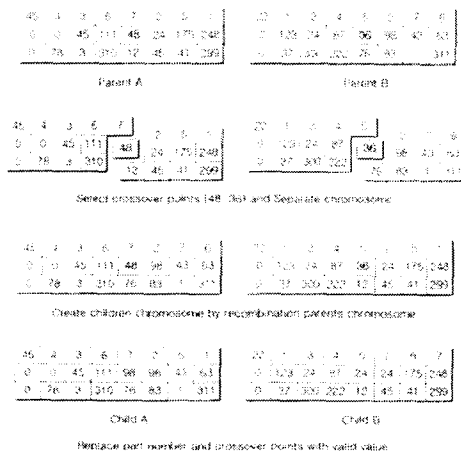


Fig. 11 Crossover operation

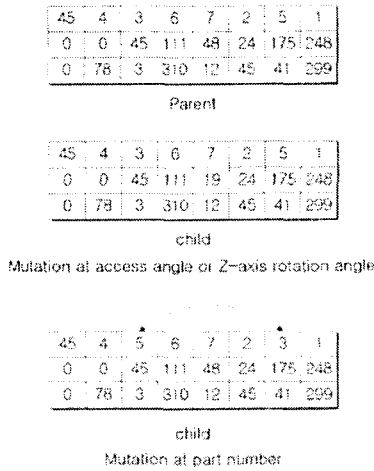


Fig. 12 Mutation operation

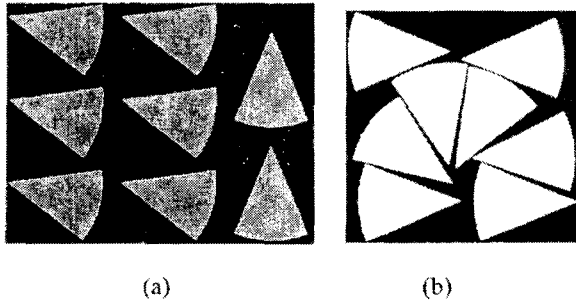


Fig. 13 Verification by simple objects

형물이 최적으로 배치하는 목적을 가진다. 이 목적함수는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize: } f(l, w) \\
 & = l \times w + (\max(l, w) - \min(l, w)) \times \min(l, w) \quad (1) \\
 & l: \text{length of layout} \\
 & w: \text{width of layout}
 \end{aligned}$$

4. 실험 및 검토

실험에 사용된 컴퓨터 시스템은 Pentium III-800M Hz, 512MB RAM이며, 사용된 소프트웨어는 RPVR이다. Fig. 13에는 직경 300mm인 원기둥을 8등분한 간단한 형상을 이용하여 본 연구의 알고리즘을 검증한 예를 보인다. Fig. 13(a)는 상업용 소프트웨어의 결과이며 배치된 총 바운딩 박스 면적은 196112mm²이었으나, Fig. 13(b)에 보인 본 연구의 알고리즘은 1000개의 유전자를 500세대 동안 진화시킴으로서 102398mm²의 면적

Table 1 Test results

Name	Bevel gear	Blade	Twist	Indicator	Cover	
Facet	4086	5441	608	18492	53765	
Bounding Box Size	x	74.12	180.02	268	209.76	102.84
	y	74.96	180.02	84.84	111.02	206.10
	z	34.42	32.96	84.84	73.04	79.60



Fig. 14 Test parts

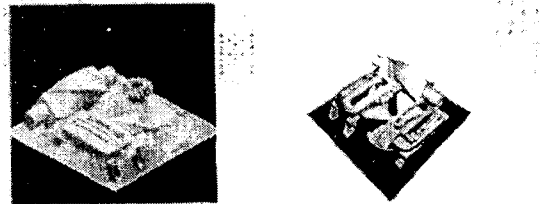


Fig. 15 Layout results (left: failed at commercial system, right: success at RPVR)

내에 모두 배열할 수 있어 기존의 소프트웨어에 비하여 약 52%의 공간을 절약하여 부품을 배열하였다.

3차원 형상의 배치실험은 실제 현장에서 사용되는 5가지의 조형물을 대상으로 실시하였다. 실험에서 설정한 RP장비는 미국 3D systems社의 SLA350으로 vat size는 (가로)350mm×(세로)350mm×(높이)400mm를 가지고 있다. 5개의 조형물의 배치에 대한 실험에 사용된 조형물은 Fig. 14과 같고 각 조형물의 facet과 bounding box

의 크기는 Table 1과 같다. 상용프로그램에서 조형물을 하나씩 삽입한 결과 5가지 조형물을 배치할 수 없었으나 삽입한 조형물 중 비교적 큰 Indicator를 제거하면 Fig. 15의 왼쪽과 같이 수초안에 배치가 가능했다. RPVR을 이용한 시험에서는 오른쪽과 같이 배치되며, 설정한 조건은 개체 수100개, 500세대, 다음 세대에 대체되는 개체 70%, 교배 90%, 돌연변이 5%이다. 연산 수행시

간은 500세대 동안 k-DOPs Tree를 만드는 시간을 포함해서 약 1,200초 정도이며 탐색한 최적해의 평균점수는 1048052점이었다. 최적의 해를 탐색하기 위해 유전자 알고리즘을 사용하면서 500여 세대에 대한 탐색을 수행했으며, 최적의 해 중에서 점수가 특정 회수이상 같으면 연산 수행을 종료했다.

본 알고리즘을 적용한 배치에서는 조형에 필요한 지지대의 형상을 고려하지 않았다. 상용프로그램에서 지지대를 생성하면 조형물이 생성되는 적응방향으로 지지대를 생성하게 된다. 본 알고리즘에 의해 조형물을 자동으로 배치된 후에 지지대를 생성하면 조형방향에 부품이 겹칠 수도 있어 후처리의 곤란과 더불어 조형정밀도에 나쁜 영향을 주게 된다. 하지만 조형물에 특성에 따라 부형되는 면 전체에 지지대를 생성할 필요는 없다.^[11] 상용 프로그램에서 과도한 지지대를 생성하는 것을 막고, 지지대의 형상까지 조형물의 형상에 포함 시키고 충돌검사를 한다면 보다 실제적인 배치가 가능하다.

5. 결 론

본 연구는 패속조형기법 중 지지대가 필요한 광조형시스템을 위한 3차원 형상의 최적 배치 알고리즘을 개발하기 위하여 수행되었다. 각 부품들의 배치 안을 작성하기 위한 유전자의 코딩 방법을 개발하였으며, 개발된 유전자에 적합한 유전연산자를 개발하였다. 또한 배치안의 평가를 위해 fitness function를 제시하였으며, 사람이 물건을 배치하는 것과 유사한 동작을 사용하는 배치 시뮬레이션기법을 개발하였다. 또한 배치 작업 도중 부품들 간의 간섭을 고속으로 평가하기 위하여 3차원 충돌탐지 기법을 도입하였다. 개발된 기법들을 검증하기 위하여 자동배치 프로그램을 작성하였으며, 상용의 자동배치 프로그램과의 비교를 통하여 그 성능이 우월함을 보였다.

본 연구에서 개발된 알고리즘은 다른 기법을 사용하는 패속조형장치에도 해당 장치의 특성을 고려하여 적용할 수 있으며, 후속 연구에서는 SLS를 다루고자 한다.

참고문헌

- (1) Nakagawa, T. and Jung, Ha-Do, 1998, *Layerd manufacturing system*, Sung-An-Dang, pp. 9~51.
- (2) Klosowski, J. T., 1998, "Efficient Collision Detection for Interactive 3D Graphics and Virtual Environments," *The requirements for the degree of doctor of philosophy at State University of New York at Stony Brook*.
- (3) Hwand, Shian-Miin, Kao, Cheng-Yen and Horng, Jorng-Tzong, 1994, "On Solving Rectangle Bin Packing Problems Using Genetic Algorithms," *Systems, Man, and Cybernetics, 1994, Humans, Information and Technology, 1994 IEEE International Conference on*, Vol. 2, pp. 1583~1590.
- (4) Pimpawat, C. and Chaiyaratana, N., 2001, "Using a Co-operative Co-Evolutionary Genetic Algorithm to Solve a Three-Dimensional Container Loading Problem," *Evolutionary Computation, Proceedings of the 2001 Congress on*, Vol. 2, pp. 1197~1204.
- (5) Dogrusoz, Ugur, 2002, "Two-dimensional Packing Algorithms for Layout of Disconnected Graphs," *Information Sciences*, Vol. 143, pp. 147~158.
- (6) Zachmann, Gabriel, 1998, "Rapid Collision Detection by Dynamically Aligned DOP-Trees," *Proc. of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium: VRAIS '98, Atlanta, Georgia*.
- (7) Hur, Sung-Min, Chang, Pok-Keun, Choi, Kyung-Hyun and Lee, Seok-Hee, 1999, "Determiniation of Part Orientation and Packing in SLS Process," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 11, pp. 139~147.
- (8) Hur, Jung-Hoon, Lee, Kun-Woo and Ahn, Jea-Hong, 1997, "Optimal 3-D Packing using 2-D Slice Data for Multiple Parts Layout in Rapid Prototyping," *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 7, No. 3, pp. 195~210.
- (9) Hur, Jung-Hoon and Lee, Kun-Woo, 1996, "Automatic Support Structure Generation for Stereolithographographic Rapid Prototyping," *Proceedings of the KSME A*, Vol. 20, No. 10, pp. 3068~3078.
- (10) Michalewicz, Zbigniew, 1996, *Genetic*

- Algorithm + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag.
- (11) Kiim, Ho-Chan, 1998, "Development of Data Translation and Automated Support Generation System for Stereolithography," *The Requiriements for the Degree of Master of Pholosophy at Pusun National university*, pp. 48-65.
- (12) Kim, Ho-Chan and Lee, Seok-Hee, 2002, "Minimization of Post-processing area for Stereolithography Parts by Selection of Part Orientation," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 26, No. 11, pp. 2409-2414.
- (13) Son, K., Choi, K. H. and Eom, S. S., 2001, Vol. 15, No. 4, pp. 448-458.