

# SLS에서의 자동적인 조형자세 및 배치 결정에 관한 연구

허성민\*, 장복근\*, 최경현\*\*, 이석희\*\*\*

## Determination of Part Orientation and Packing in SLS Process

Sung-Min Hur\*, Pok-Keun Chang\*, Kyung-Hyun Choi\*\* and Seok-Hee Lee\*\*\*

### ABSTRACT

Rapid prototyping has made a drastic change in all industries which needs to reduce the time for the development of new products. Orientation and packing in rapid prototyping is considered as the most important factors to maximize the utilization of space in the build chamber and reduce build time. However, the decision of these parameter is mainly dependant on the operators's experience. This paper presents the methodology to find the optimal build layout considering an orientation and packing of multiple parts in SLS processing. Each part is represented as a voxel structure to deal with the inefficiency in a bounding box approach. Test results show that the adapted BL algorithm with a genetic algorithm(GA) can be applicable to a real industry.

**Key Words** : Rapid Prototyping(쾌속조형법), Part Orientation(조형 자세), Packing(배치), Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), Slicing data(단면 데이터), Selective Laser Sintering(선택적 레이저 소결법), BL Algorithm

### 1. 서론

급속한 산업 발전과 소비자 요구 조건의 다양화에 따라 제품의 수명 주기가 짧아지게 되었고, 그로 인해 신제품 개발기간의 단축은 모든 산업 전반에 있어 기업 생존의 열쇠로 작용하고 있다. 1980년대 후반부터 상용화되기 시작한 쾌속조형법(Rapid Prototyping)은 짧은 시간에 다양한 시제품의 제작이라는 특징을 내세워 현재 CAD/CAM 분야에 서 고유영역을 확보해 가고 있다.

쾌속조형법은 3차원 물체의 위상 정보를 공간 좌표계의 z축 방향에 대하여 일정 구간의 단면 정보로 변환한 뒤, 적층조형기법(Layered Manufacturing Technique)을 사용하여 한 층씩 쌓아 3차원

물체를 제작하는 기술로서, 사용하는 재료와 경화 방법에 따라 SLA(Stereolithography Apparatus), SLS(Selective Laser Sintering), LOM(Laminated Object Manufacturing), FDM(Fused Deposit Modelling), SGC(Solid Ground Curing) 등 여러 종류가 개발되었다<sup>(1)</sup>. 특히, SLS 기법은 분말 재료에 레이저를 투사하여 분말소결에 의한 접착력으로 적층을 해나가는 방법이다. Fig. 1은 개략적인 SLS 장비의 구조를 나타내고 있다.

쾌속조형법과 기존의 절삭가공을 비교해 볼 때, 쾌속조형법은 짧은 시간에 시제품 생산, 복잡한 내부형상의 가공이 용이, 실제변경에 의한 수정 작업이 용이, 여러 시제품의 동시 가공을 통한 제작시간 단축 등의 장점이 있다.

\* 부산대학교 대학원

\*\* 제주대학교 기계에너지생산공학부

\*\*\* 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소

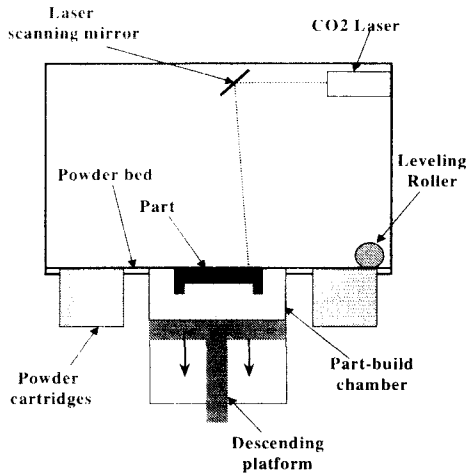


Fig. 1 Schematic diagram of SLS

이에 비해 쾌속조형법의 단점으로는 조형물의 조형자세에 따라 시제품의 표면 정도, 가공 시간에 영향을 미치며, 또한 고정밀도를 요구하는 가공에는 부적합하다. 특히 적응에 의한 가공이 이루어지므로 실제 가공시간보다는 적층 준비시간 즉, 파우더 공급시간, 플랫폼 이동시간 등이 더 많이 소요된다.

따라서 최적의 조형자세 및 배치 결정은 쾌속조형법에 있어서 가장 중요한 가공 조건으로 작용하고 있다. 현재까지는 숙련된 작업자에 의해 조형자세 및 배치를 결정함으로써, 작업자의 숙련 정도에 따라 시제품의 성능과 가공시간에 많은 차이를 보였다.

본 연구에서는 작업자의 숙련 정도에 영향을 받지 않고 자동적으로 최적의 조형 자세 및 배치 결정을 할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 이를 응용하여 시제품 성능 향상 및 가공 시간 단축을 도모하였다. 특히, 조형자세 결정 요소에는 실제 현장에서 발생하는 문제점을 포함시켰으며, 효율적인 배치 결정을 위하여 시제품 형상을 복셀(Voxel)로 표현하고, 최적의 해를 위해서 유전자 알고리즘을 적용하였다.

## 2. 관련연구

쾌속조형법에서 조형자세 결정은 제작시간 및 시제품 성능에 많은 영향을 미치며, 특히 사용되는

장비와 재료에 따라 그 결정요소가 달라지게 된다. Jacobs<sup>(1)</sup>는 조형물 높이, 계단효과에 의한 표면정도, 고립체적을 최적의 조형자세 결정요소로 규정하였으며, Lan<sup>(2)</sup> 등은 표면정도, 성형시간, 지지대를 고려하여 SLA 장비에서 최적의 조형 자세를 결정하려 하였다. 그러나 지지대와 고립체적은 SLS 장비에서는 발생되지 않는 요소이기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않았다. Tumer<sup>(3)</sup> 등은 SLS 장비에서 시제품의 표면정도와 조형자세와의 관계에 대하여 연구하였지만, 표면정도 외의 다른 요소들은 고려되지 않아, 최적의 조형자세를 결정하였다고는 말할 수 없다.

배치 결정 문제는 일정 작업 공간에 3차원 물체를 최적으로 쌓아 나가는 3차원 배치 문제에 해당된다. 기존의 연구들은 주로 2차원 배치에 관련된 문제를 다루었으며, 3차원 패킹에 대한 연구 또한 직육면체 공간 내부에 물체를 배치하는 연구는 활발히 이루어지고 있지만, 본 연구에서처럼 실린더 형상 내부에 물체를 배치하는 3차원 배치에 대한 연구는 아직은 미비한 편이다.

2차원 배치 문제를 해결하기 위하여 Jakobs<sup>(4)</sup>는 유전자 알고리즘과 Bottom - Left 알고리즘을 적용하였고, Albano<sup>(5)</sup> 등은 No-fit-polygon 개념을 적용하였다. Na<sup>(6)</sup> 등은 배치하고자 하는 2차원 형상을 쿼드트리(quadtrees)구조로 변환하여 문제를 단순화시켜 해결하려 하였다. Ismail<sup>(7)</sup> 등은 격자(grid)구조로 형상을 나타내었으며, 유전자 알고리즘을 적용하여 2차원 배치 문제의 최적해를 찾으려 하였다.

3차원 배치 문제에 대한 연구로는 Szykman<sup>(8)</sup> 등이 Simulated Annealing 기법을 이용하여 체적해를 찾으려고 하였다. 하지만, 직육면체나 실린더 형상 같은 단순한 물체를 배치하고자 하였을 뿐, 복잡한 형상이나 직육면체 이외의 다른 작업 공간에 대한 배치는 수행하지 못했다.

쾌속조형법의 시제품 최적 배치와 관련된 연구에서 Wodziak<sup>(9)</sup> 등은 시제품 형상을 바운딩 박스(bounding box)로 표현하여 문제를 단순화하였으며, 또한 유전자 알고리즘을 적용하여 최적해를 구하려 하였다. 하지만 형상을 바운딩 박스로 표현할 경우 시제품의 형상에 따라 많은 공간의 낭비를 가져오는 단점이 있다. 허정훈<sup>(10)</sup> 등은 단면 슬라이싱 정보에서 얻어진 페다각형들 간의 관계를 No-fit-polygon 개념을 적용하여 배치를 수행하였지만, 시제품 형상이 복잡해질수록 계산 시간이 많이 소요

되며, SLA에서 필요로 하는 지지대에 의해 여러 층으로 시제품을 배치할 경우 발생하는 표면정도에 관련된 문제점을 해결하지 못했다. Ikonen<sup>(11)</sup> 등은 SLS를 기반으로 실린더 형상 내부에 물체를 배치하는 3차원 배치 문제에 유전자 알고리즘을 적용하였지만, 형상을 바운딩 박스로 표현하여 공간의 낭비가 많다는 단점을 가지고 있다.

### 3. 이론적 배경

#### 3.1 조형자세 결정

##### 3.1.1 조형자세 결정요소

조형자세는 어떤 요소를 조형자세 결정요소에 포함시키느냐에 따라 매우 다르게 결정된다. 본 연구에서는 신속한 시제품 제작과 SLS에서 많이 발생하는 컬링 현상을 방지하기 위한 방안에 주안점을 두어 조형 자세 결정요소를 선택하였다.

조형자세 결정요소에는 다음과 같은 두 가지의 목적함수를 가진다.

첫째, 최소 조형 높이이다. 쾌속조형법은 적층 준비시간이 많이 소요되므로 조형물의 높이가 낮은 조형자세를 결정함으로써 조형시간을 줄일 수 있다.

둘째, 시제품 조형 단면적의 x축과 y축 방향의 길이 비이다. Fig. 2와 같이 x축 방향의 단면의 길이가 y축 방향의 단면 길이보다 크게 되면, 많은 분말 이송량이 필요하게 되며, 또한 분말의 분포밀도가 불균일하게 되어 시제품의 품질이 나빠지게 된다.

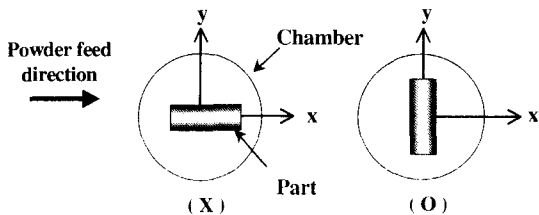


Fig. 2 Relationship between quantity of powder feed and part orientation

이상과 같은 목적 함수의 최적화와 더불어 쾌속 조형법, 특히 SLS에서 시제품 제작시 요구되는 여러 제한 조건들을 조형 자세 결정요소에 포함시켜

야 한다. 이러한 제한 요소들은 시제품의 제작 가능 여부와 성능에 많은 영향을 미친다. 본 연구에 적용하는 다음과 같이 세가지의 제한 조건을 조형 자세 결정요소에 포함시켰다.

첫째, 챔버(chamber)의 크기이다. 기반 시설인 Sinterstation<sup>R</sup> 2000(DTM 社)은 높이 380mm, 지름 300mm의 실린더형의 챔버를 가지고 있다. 따라서 챔버보다 큰 시제품은 성형이 불가능하다.

둘째, 분할된 시제품에서의 분할면의 위치이다. SLS는 고온 하에서 분말에 레이저를 투사하여 액화된 분말 결정의 점착력에 의해 성형이 이루어진다. 따라서 하위층과 상위층간의 온도차에 의해 시제품이 휘는 현상(curling)이 발생하게 되며, 특히 히터가 챔버의 아래 부분에 존재하므로 챔버의 하부에서 컬링 현상이 더욱 더 많이 발생한다. 따라서, Fig. 3과 같이 분할면이 항상 위쪽을 향하도록 배치하여야만 컬링 현상에 의해 발생하는 결합 불량량을 방지할 수 있다.

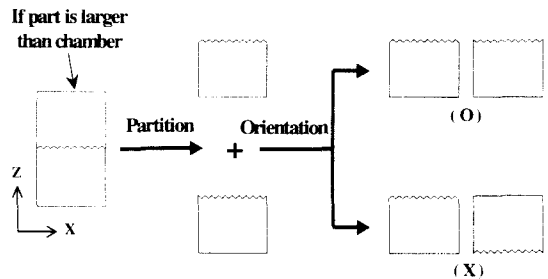


Fig. 3 Part orientation of divided part

셋째, 시제품의 초기 성형 단면적이다. Fig. 4와 같이 지지대가 존재하지 않는 SLS과정에서 첫 번째 적층면은 구속없이 자유로운 상태가 되어 컬링 현상에 의한 변형량이 다른 층에 비하여 매우 크게 나타난다. 또한 이러한 현상은 다음 적층면에도 영향을 주게 되어 시제품 전체의 치수 정밀도에 악영향을 미치게 된다. 따라서 첫 번째 적층면의 단면적을 작게 함으로써 컬링 현상에 의한 변형량을 줄일 수 있다.

##### 3.1.2 조형자세 결정 알고리즘

조형자세 결정의 전체적인 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

첫째, 배치하고자 하는 각 시제품의 STL 파일명, 시제품의 분할 여부를 입력받는다.

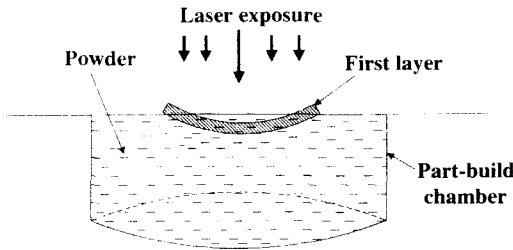


Fig. 4 Curling effect of the first layer

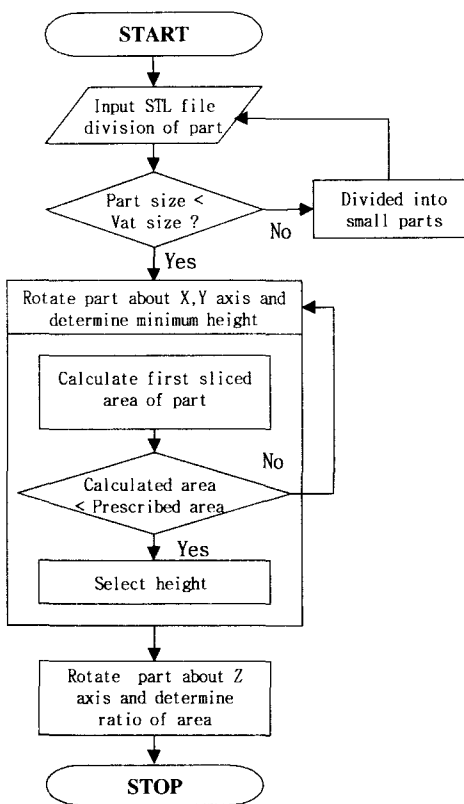


Fig. 5 Flow chart of part orientation

둘째, 입력된 STL 파일에서 시제품 형상 정보를 읽어들이 시제품이 챔버의 크기에서 성형이 가능한지를 판단한다. 시제품의 크기가 챔버의 크기보다 더 클 경우 사용자에게 시제품의 성형이 불가능하다는 것을 알려 STL 파일을 분할하도록 요구한다.

셋째, 시제품의 조형 높이를 결정한다. 실제 현장에서 제작되고 있는 시제품을 STL 파일 구조로

나타내면 수 안에서 수십 만에 이르는 삼각형의 집합으로 이루어진다. STL 파일 구조로 표현된 시제품 형상의 최소 높이를 수학적으로 구하기 위해서는 각 삼각형의 법선 벡터에 따라 형상을 회전시켜 각각의 조형자세에 따른 높이를 구하여야 한다. 따라서 수학적인 계산에 의해 최소 조형 높이를 결정할 경우, 계산 시간이 너무 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 x축과 y축 방향으로 일정한 각도로 회전하여 조형물의 높이를 계산하고 높이가 가장 작은 값을 최소 높이로 취한다. 본 연구에서는 여러 번의 실험을 통하여 계산 시간의 절약과 제품의 정도 문제를 고려하여 시제품을 5° 씩 회전시켜 최소 높이를 구한다. 그러나 분할된 시제품의 경우 사용자는 분할면이 z축의 (+)방향을 향하도록 배치한 STL 파일을 입력한다는 전제 조건하에서 시제품의 전체 회전 가능한 영역을 30° 로 규정하여 분할면이 항상 위쪽에 위치하도록 한다. 또한 시제품의 첫 번째 슬라이싱 단면적을 구하여, 이 값이 규정된 초기 성형 단면적보다 클 경우 최소 높이로 선정되지 않는다. 여기서 초기 성형 단면적의 기준치는 100mm<sup>2</sup>로 선정한다. 단면적의 기준치는 현장에서 얻어진 실험적 수치이다.

넷째, 조형 단면적의 길이 비를 결정한다. y축 방향의 단면 길이가 x축 방향의 단면 길이보다 크게 하기 위해서는 조형 높이가 결정된 시제품을 z축 중심으로 일정 각도씩 회전시켜 y축 방향의 단면 길이와 x축 방향의 단면 길이의 상관관계를 식 (1)과 같이 규정하여 조형자세를 결정한다.

$$f(l, b) = \max \left\{ w_h \times \frac{h}{h_{ave}} + w_b \times \left( 1 - \frac{b}{b_{ave}} \right) \right\} \quad (1)$$

$w_h$  = x축 가중치,  $w_b$  = y축 가중치  
 $h$  = y축 단면적 길이,  $h_{ave}$  = y축 조형 단면적 길이 평균  
 $b$  = x축 단면적 길이,  $b_{ave}$  = x축 조형 단면적 길이 평균

### 3.2 배치 결정과 변형된 BL 알고리즘

#### 3.2.1 BL 알고리즘(Bottom-Left Algorithm)

주어진 일정한 공간 내에 여러 물체들을 배치하는 문제는 무한한 탐색 영역을 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 제시된 것이 BL 알고리즘이다. BL 알고리즘은 직사각형의 일정 공간 내에 배치 순서를 가진 여러 직사각형 물체를 배치하는 것으로 2차원 배치 문제에 사용되어지고 있다. Fig. 6과 같이 배치 순서에 따라 직사각형 물체

들은 배치 가능한 공간 중 먼저 제일 아래쪽(y축 방향)으로 이동하게 되고, 그 다음으로는 배치 가능한 왼쪽 영역(x축 방향)을 찾아가게 된다.

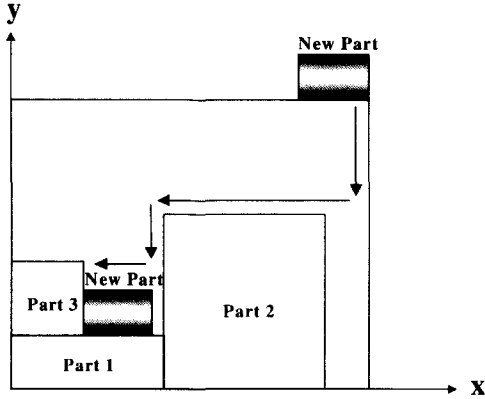


Fig. 6 Part packing using BL algorithm

3차원 배치 문제에 대한 BL 알고리즘의 확장은 직육면체 공간에 직육면체 형상의 물체를 배치하는 것으로 귀속된다. 2차원 배치 문제에서의 최고의 우선권은 y축 방향이 되었지만, 3차원 배치 문제에서는 z축 방향으로 가장 작은 값을 선택하는 것이 최우선 조건으로 규정되고, 그 다음은 2차원 배치 문제와 동일한 방법으로 y축 방향으로 가장 작은 값이 선택되고, 마지막으로 x축 방향으로 가장 작은 값이 선택되도록 한다.

### 3.2.2 변형된 BL 알고리즘

Sinterstation<sup>®</sup> 2000은 다른 쾌속조형장치와는 달리 실린더 형상의 챔버를 가지고 있다. 또한 시제품 가공시 챔버의 중심에 가까이 배치될 수록 표면정도가 뛰어나므로 가공할 시제품을 챔버 중심에 배치되도록 하여야 한다. 이는 레이저 주사가 갈바노미터 미러(galvanometer mirror)의 회전에 의하여 이루어지므로 챔버의 중심에서 벗어날 수록 경화 깊이와 경화 강도가 달라져 표면정도가 떨어지기 때문이다. 이상과 같은 제한 조건에 의해 일반적인 BL 알고리즘으로는 적절한 시제품 배치가 불가능하다.

따라서 BL 알고리즘을 변형하여 Fig. 7과 같이 원을 4등분한 영역에서 각 4분원에 대하여 기존의 BL 알고리즘을 수행하였으며, 또한 시제품을 챔버

중심에 두기 위하여 우선 순위를 원 중심에서의 거리로 계산하였다. 즉, 새로운 시제품이 들어오게 되면 배치 가능한 영역 중, 원의 중심에서 가장 가까운 곳에 시제품을 배치하게 된다.

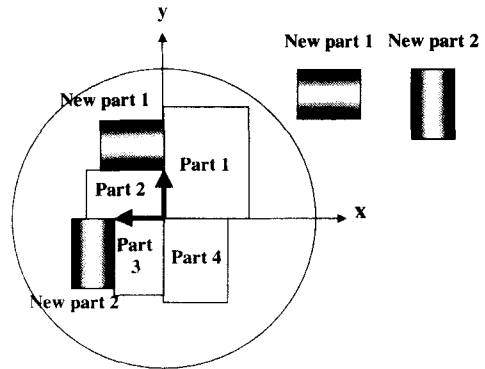


Fig. 7 Part packing using modified BL algorithm

변형된 BL 알고리즘의 3차원에서의 확장은 기존의 BL 알고리즘의 3차원에서의 확장과 동일하다. 즉, z축 방향으로 배치 가능한 영역 중에서 가장 작은 값을 선택하고, 다음으로 전술한 변형된 BL 알고리즘을 적용하게 된다.

## 3.3 복셀(voxel)을 이용한 시제품 배치

### 3.3.1 단면 슬라이싱

STL 파일 구조는 삼각형 facet만으로 형상을 나타내므로 3차원 형상의 위상 정보를 제대로 가지고 있지 않다. 따라서 STL 파일을 변환과정 없이 바로 복셀로 표현하는데는 많은 시간과 노력이 필요하다. 본 연구에서는 위의 문제점을 해결하기 위하여 STL 파일을 일정 구간의 단면으로 슬라이싱한 뒤, 이 단면 정보를 이용하여 복셀 구조로 변환하였다.

슬라이싱은 Fig. 8과 같이 다음과 같은 단계에 따라 수행되어진다.

- 단계 1. 일정 간격에 따라 주어진 높이를 가진 평면을 구성한다.
- 단계 2. 단계 1의 평면과 STL 파일의 삼각형 facet간의 교차 여부를 판단하여 교차된 직선을 구한다. 그러나, 평면과 삼각형 facet이 한 점에서 교차하는 경우 생기는 점은 무시한다.

단계 3. 구해진 요소들 중에서 중복된 직선들을 제거한다.

단계 4. 직선들의 시작점과 끝점을 연결하여 끊어지지 않는 단일 폐곡선을 만든다.

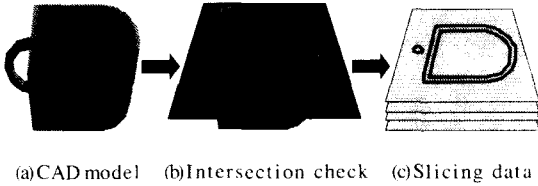


Fig. 8 Slicing process

### 3.3.2 3차원 복셀 구조 생성

슬라이싱 데이터에서 얻어진 폐다각형을 이용하여 제품 형상을 3차원 복셀 구조로 표현하기 위해서는 먼저 폐다각형을 2차원 격자 구조로 나타내어야 한다.

Fig. 9는 폐다각형을 이용하여 2차원 격자 구조를 만들어 내는 단계를 나타내고 있다. Fig. 9의 (a)는 슬라이싱 데이터에서 얻어진 폐다각형을 나타내고 있으며, Fig. 9의 (b)는 폐다각형의 경계부분을 격자 구조로 표현한 모습이다. Fig. 9의 (c)는 폐다각형 내부에 해당되는 영역을 격자 구조로 표현하고 있다.

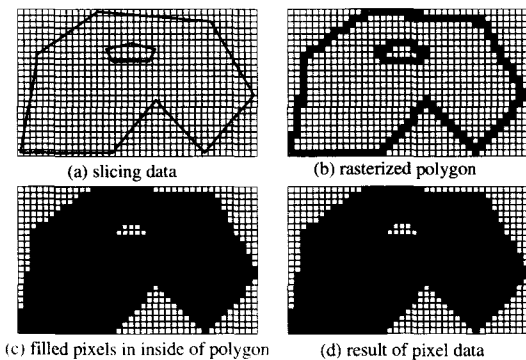


Fig. 9 Representing slice data by grid

폐다각형의 내·외부는 Fig. 10과 같이 x축 방향으로 평행하게 직선을 그어 폐다각형과의 교차점을 조사하여 판단할 수 있다. 여기서, 폐다각형과 직선은 짝수개의 교차점을 가지며, 특히 홀수번째 교차점과 짝수번째 교차점 사이는 폐다각형의 내부

에 해당하며, 짝수번째 교차점과 홀수번째 교차점 사이는 폐다각형의 내부에 해당된다.

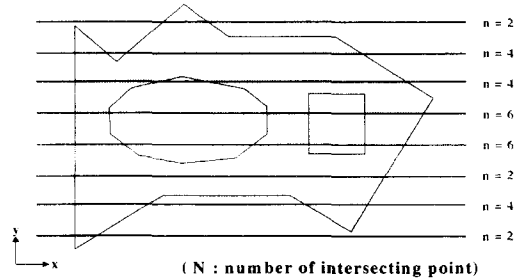


Fig. 10 Region within polygon's boundary

이상과 같은 관계를 적용하여 Fig. 9의 (d)와 같은 폐다각형을 직사각형 격자의 2차원 배열로 만들 수 있다. 이렇게 만들어진 격자 구조는 실제 시제품 형상과 비교하여 조금 더 큰 형상으로 왜곡되어 나타나지만, 제품 성형시 근접한 제품끼리의 간섭을 방지할 수 있는 장점이 있다.

3차원 복셀은 일정 높이 별로 구해진 2차원 격자 구조를 적층하여 3차원화 함으로서 구할 수 있다. 이 방법은 쾌속 조형법이 제품을 성형할 때 단면 슬라이싱 정보로 3차원 형상을 만들어 내는 것과 동일하다.

### 3.3.3 시제품 배치

유전자 알고리즘을 적용하여 배치 순서가 결정되면 시제품의 배치를 수행하게 된다. 복셀로 표현된 시제품은 일정한 공간 즉, 챔버에 다음의 조건을 만족하도록 배치가 수행된다.

- 조건 1. 최소의 배치 가능 높이를 가질 것
- 조건 2. 챔버 중심에 가까이 배치될 것
- 조건 3. 모든 시제품의 배치가 불가능할 경우 최대한 많은 시제품이 배치되도록 할 것

조건 1은 유전자 알고리즘을 적용할 때 목적 함수에 배치 가능 높이를 포함함으로써 해결이 가능하며, 조건 2는 변형된 BL 알고리즘을 적용하여 챔버 중심에 시제품이 배치되도록 하여 해결이 가능하다. 마지막으로 조건 3은 배치 수행 후 배치 불가능한 시제품이 있을 때 유전자 알고리즘의 목적 함수를 배치 가능한 시제품의 체적으로 결정하여 해결할 수 있다.

이상과 같은 조건에 따라 시제품의 배치는 아래

와 같은 단계에 따라 수행되어진다.

- 단계 1. 챔버를 나타내는 3차원 배열을 구성한다.
- 단계 2. 배치 순서에 따라 시제품의 배치 가능영역을 탐색한다.
- 단계 3. 배치 가능영역이 결정되면 시제품의 복셀 정보를 챔버의 3차원 배열로 변환한다.
- 단계 4. 모든 시제품 배치가 수행되었으면 종료하고, 만약 더 배치해야할 시제품이 남아 있으면 단계 2로 되돌아간다.

$$\text{If, } p=2(1 \leq p \leq n), q=3(1 \leq q \leq n-p+1)$$

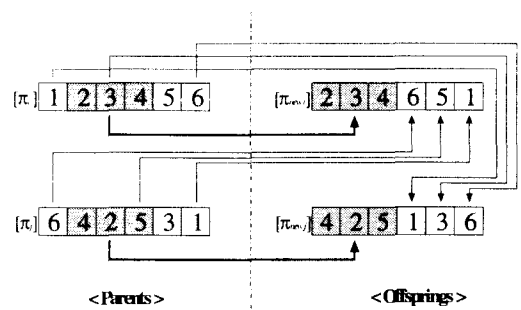


Fig. 12 Example of crossover

### 3.4 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)

#### 3.4.1 개체 집단

유전자 알고리즘을 적용하기 위한 개체 집단은 Fig. 11에서와 같이 배치하고자 하는 시제품들의 순서로 정의된다. 기존의 유전자 알고리즘을 적용한 배치 수행 알고리즘에서는 개체들의 회전 요소들을 개체 집단에 포함하고 있다<sup>(9-10)</sup>. 그러나 본 연구에서는 회전 요소들을 포함할 경우 앞에서 수행된 조형 자세가 달라져 시제품의 정도에 영향을 미치게 되므로 개체들의 회전 요소를 배제시킨다.

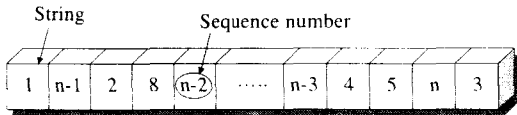


Fig. 11 Structure of string

#### 3.4.2 교배와 돌연변이

일반적인 유전자 알고리즘의 교배는 선택된 부모 세대에서 일정한 구간을 서로 교차하여 새로운 세대를 만들어 내는 것이다. 그러나 배치 순서를 가진 개체를 일정한 구간으로 나누어 새로운 개체로 만들게 되면 중복된 요소를 가진 개체가 생성되어진다. 따라서 중복된 요소를 포함한 개체 생성을 피하기 위해 다음과 같은 연산을 수행하였다.

부모 세대에서  $p(1 \leq p \leq n)$ 와  $q(1 \leq q \leq n-p+1)$ 인 난수를 발생시켜, 한쪽의 부모 개체에서  $p$ 번째 요소부터  $q$ 개의 요소들을 얻어오고, 다른 쪽의 부모 세대에서는 선택되지 않은 요소들을 순서대로 가져오는 것이다. 만약  $p=2$ 이고  $q=3$ 인 경우 Fig. 12와 같이 새로운 개체가 만들어진다.

돌연변이는 한 개체에서 난수에 의해 두 점을 선택하여 두 요소의 값을 바꾸는 것으로서 중복된 요소를 포함하는 경우를 피하였다.

#### 3.4.3 평가함수

유전자 알고리즘 수행 시 최적의 배치는 평가함수 값에 따라 판단되어야 한다. 평가함수는 다음의 두 가지 경우로 나누어 생각하여야 한다. 즉, 유전자 알고리즘 수행 후 입력된 모든 시제품들이 주어진 공간에 배치가 가능할 경우와 배치가 불가능할 경우로 구분되어진다. 주어진 배치 순서에 따라 모든 시제품의 배치가 가능할 경우 목적함수는 식(2)의  $f_{opt1}$ 와 같이 최소 조형 가능 높이로 정의된다. 그리고 모든 시제품의 배치가 불가능할 경우의 목적함수는  $f_{opt2}$ 와 같이 배치 가능한 시제품들의 체적합과 배치 가능한 가용 체적의 합의 비율로 정의된다.

$$f_{opt1} = \min \{ H_p \}$$

$$f_{opt2} = \max \left\{ \frac{\sum_{i=1}^k V_i}{V_c} \right\} \quad (2)$$

$$f_{opt} = \begin{cases} f_{opt1}, & \text{if } f_{opt1} \leq H_c \\ f_{opt2}, & \text{if } f_{opt1} > H_c \end{cases}$$

### 4. 적용예

이상과 같은 이론을 바탕으로 SGI사의 O2에서 C Language와 Open Inventor를 사용하여 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어를 사용하여 Fig. 13에서와 같이 3D Studio<sup>®</sup> MAX에서 지원하는

20개의 3차원 형상을 배치한 결과를 유전자 알고리즘의 수행세대수에 따라 Fig.14에 나타내었다. 또한 Fig. 15는 유전자 알고리즘의 수행 세대수에 따라 평가 함수인 최소 조형 높이가 수렴되어 가는 상태를 그래프로 나타내었다.

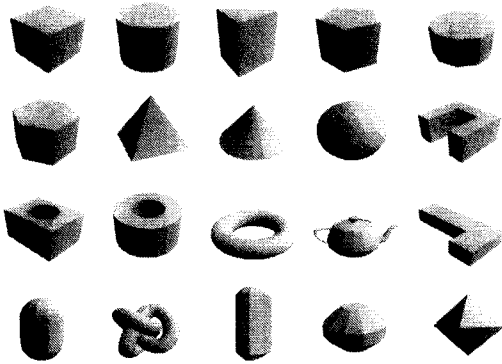


Fig. 13 Example of 3D models

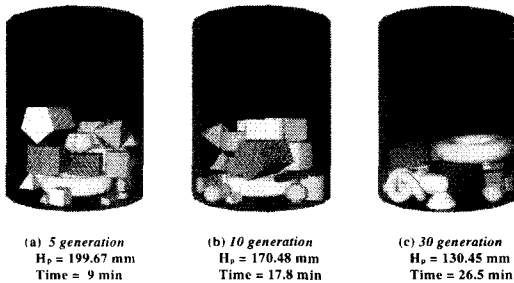


Fig. 14 Result of packing according to the number of generation

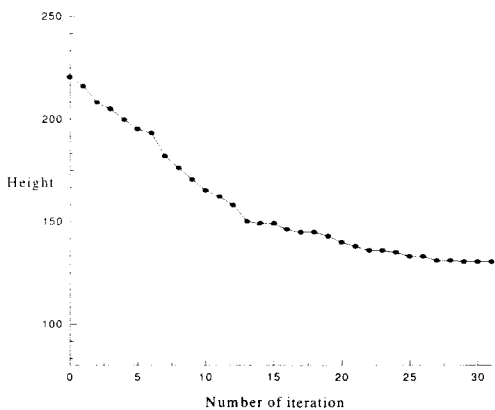
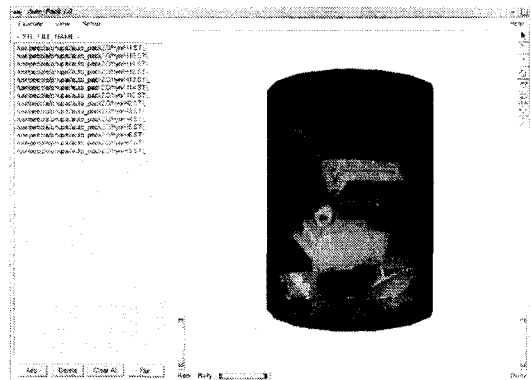


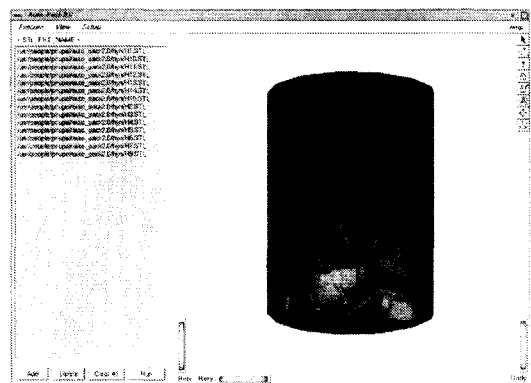
Fig. 15 Convergence status of optimization process for example part

현재 패속조형법을 위한 상용 프로그램인 MagicsR RP는 시제품을 여러 층으로 배치하여 생산하는 SLS에서 필요한 3차원 배치를 수행하는 것이 아니라 2차원 배치만을 지원하며, 시제품의 실제 형상에 기반을 둔 배치가 아닌 바운딩 박스 (bounding box)에 의한 배치를 수행하므로 작업공간 사용의 효율성이 떨어진다. 또한 시제품을 배치하는 작업 공간이 실린더 형상이 아닌 직육면체 형상이므로 본 논문의 연구 대상인 Sinterstation<sup>R</sup> 2000에 적용이 곤란하다. 따라서 Magics<sup>R</sup> RP와 개발된 소프트웨어와의 비교는 적절하지 않다.

본 연구에서는 바운딩 박스를 이용한 배치 결과와 복셀을 이용한 배치 결과를 비교하기 위하여 두 가지의 프로그램을 따로 개발하여 Table 1과 같은 실험 조건에 따라 수행한 결과를 Fig. 16에 나타내었다.



(a) Packing using bounding box



(b) Packing using voxel

Fig. 16 Result of packing



Table 1 Condition and result of experiment

실험 조건		결과		
			(a)	(b)
제품 수	14 EA	수행시간	20 min	45 min
GA 세대수	30 세대	조형가능 높이	329.43 mm	160.30 mm
weight value	$w_1 = w_2 = 1$	제작 불가능한 제품 수	0 EA	0 EA

Fig. 16(a)는 바운딩 박스를 이용한 배치 결과이며, (b)는 복셀을 이용한 배치 결과이다. 배치하고자 하는 시제품의 형상이 복잡해질수록 복셀을 이용한 배치의 경우는 바운딩 박스를 이용한 경우보다 계산 시간이 많이 소요되기는 하지만, 배치 가능 높이에서는 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 산업 현장에서 사용되고 있는 SLS를 기반으로 하여 지금까지 사람의 수작업으로 수행되어져 왔던 여러 시제품의 조형자세 및 배치 결정을 자동적으로 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 이를 위해 조형자세 결정요소에 산업 현장의 경험적 데이터를 포함시켰으며, 최적의 배치 결과를 얻기 위하여 시제품 형상을 복셀로 표현하였고, BL 알고리즘을 변형하여 실린더형 내부에 시제품이 배치 가능하도록 하였으며, 유전자 알고리즘을 적용하여 빠른 시간에 최적의 해를 탐색할 수 있게 하였다. 개발된 소프트웨어를 통해서 지금까지 사람의 수작업을 통해 수행되어졌던 조형자세 및 배치 결정 과정에서 발생하는 시제품간의 중첩 형상을 사전 시뮬레이션을 통해 방지할 수 있었으며, 시제품 수의 증가에 따라 기하급수적으로 늘어나는 시제품 배치 시간을 절반이상으로 줄일 수 있었다. 또한 조형 자세를 결정함에 있어 경험적 수치를 사용함으로써 성형된 시제품의 성능을 향상시킬 수 있었다.

### 참고문헌

1. Paul F.Jacobs, "Rapid Prototyping and Manufacturing Fundamental of Stereolithography," Society of Manufacturing Engineers. 1st Edition. 1992.
2. Po-Ting Lan, Shuo-Yan Chou, Lin-Lin Chen and Douglas Gemmill, "Determining Fabrication Ori-

- tations for Rapid Prototyping with Stereolithography Apparatus." Computer Aided Design. Vol 29, No. 1, pp. 53-62. 1997.
3. Irem Y. Tumer, David C. Thompson, Richard H. Crawford and Kristin L. Wood, "Surface Characterization of Polycarbonate Parts from Selective Laser Sintering," The Proceedings of 1996 World Automation Conference, pp. 731-736, May, 1996.
4. Stefan Jakobs, "On Genetic Algorithms for the Packing of Polygons," European Journal of Operational Research, pp. 165-181, 1996.
5. Albano A. and Sapuppo G., "Optimal Allocation of Two-Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. SMC-10, No. 5, pp. 242- 248, May, 1980.
6. S.J. Na, G.C. Han, D.I. Kim, and S.K. Kim, "A New Approach for Nesting Problem using Part Decomposition Technology," Proceedings of the 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol. 3, 1997
7. H.S. Ismail and K. K. B. Hon, "New Approaches for The Nesting of Two-Dimensional Shapes for Press Tool Design," Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 4, pp. 825-837, 1992.
8. S. Szykman and J. Cagan, "A Simulated Annealing based Approach to Three-dimensional Component Packing," Automation -1994, DE-Vol. 69-2, ASME, pp 125 -133, 1994.
9. John R. Wodziak, George M. Fadel and Chuck Kirschman, "A Genetic Algorithm for Optimizing Multiple Part Placement to Reduce Build Time," The Fifth International Conference on Rapid Prototyping, pp. 201- 210, 1994.
10. 허정훈, 이건우, 안재홍, "신속시작작업에서 2차원 단면데이터를 이용한 3차원 물체의 최적자동 배치를 위한 알고리즘의 개발," 한국 CAD/ CAM 학회 논문집, 제 2권, 제 3호, pp. 195- 210, September, 1997.
11. Ikonen I. and William E. Biles, "A Genetic Algorithm for Optimal Object Packing in a Selective Laser Sintering Machine," The Proceeding of the 7th International FAIM Conference, 1997.