

# 유전자 알고리즘을 이용한 광조형장치의 작업변수 결정

전근수\*(부산대학교 대학원), 백인환(부산대학교)

## Determining Variables of Fabrication for Stereolithography using Genetic Algorithm

Keun Su Jun\*, In Hwan Baek

### ABSTRACT

In this research we investigate geometric issues involved while using a particular rapid prototyping system, called Stereolithography(SLA). SLA create prototypes layer by layer, each layer being formed by scanning a laser beam across the x, y surface of a vat of liquid monomer mix.

The performance of SLA is influenced by orientation and layer thickness of designed fabrication. The number of layer and the area needed support is influenced by the orientation and layer thickness of designed fabrication. The step influence and volume error is influenced by slice thickness. We minimize the support are, the number of layer and cusp height. These variables of fabrication is minimized using genetic algorithm.

The time for genetic algorithm is as little as we can accept. So we calculate support area and cusp height simply.

**Key Words** : Stereolithography apparatus (광조형장치), Genetic algorithm (유전자 알고리즘), Orientation (회전), Layer thickness (적층두께), Support area (지지대 면적)

### 1. 서론

쾌속조형(Rapid Prototyping)은 3차원 CAD모델을 2차원으로 단면화시켜 한 층씩 적층하여 실제 3차원 형상을 짧은 시간에 제작하는 기술이다<sup>[1]</sup>.

따라서 3차원 모델을 2차원의 단면형상으로 근사화하는 과정이 필요한데 이 과정에서 필연적으로 오차가 발생되어진다. 단면화 과정에서 발생하는 오차는 3차원 CAD형상에서 삼각형 퍼싯(Facet)으로 이루어지는 STL 파일로 변환하는데서 오는 오차와 STL 파일을 이용한 단면화에서 오는 오차가 있다. 이 두 오차 중 비교적 쉽게 제어할 수 있는 것은 단면화과정이다.

단면화 과정에서 발생하는 오차는 층을 적층두께로 자를 때 발생하는 계단효과에 의한 것이다. 적층두께를 얇게 하면 계단효과가 줄어들고 체적오차가 줄어들지만 층의 개수가 늘어남에 따라 조형 시간이 많이 걸린다. 이에 반해 적층두께를 두껍게 하면 층의 개수가 줄어들지만 계단효과가 커지고 체적오차가 커진다.

이런 문제에 대한 기존 연구에는 적층두께를 다양화하는 연구와 조형자세의 변화시키는 연구가 있었다.

기존의 적층두께를 다양화방법은 주로 적응 단면화의 방법을 사용하였다<sup>[2][3]</sup>. 적응 단면화 방법은 현재 단면의 높이를 통과하는 삼각형 퍼싯(Facet)들 중 법선의 벡터의 Z성분이 가장 큰 값을 이용하여 레이어 두께를 계산하는 것이다. 그러나 이러한 계산에 의한 방법은 두께의 종류가 너무 다양하다. 대부분의 쾌속조형장치에서는 특정한 범위내의 두께는 모두 제작 가능하지만 이를 위해서 기계적인 설정을 필요로 한다. 기계적인 설정을 고정시켰을 경우 제작 가능한 두께는 몇 가지로 한정되어 있다.

또 다른 단면의 개수를 줄이는 방법은 조형자세를 변화시켜 높이를 최소화시키는 방법이 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 조형자세의 변화는 지지대가 필요한 부분의 면적의 변화와 복잡성으로 인하여 후처리에 불편을 겪게 된다.

기존 연구의 적층두께의 다양화와 조형자세의

결정은 목적이 같다. 그러나 두 가지를 동시에 결정하는 연구가 부족하다. 그러므로 본 연구에서는 광조형에 적용될 수 있는 조형자세와 단면화를 전역적인 탐색방법인 유전자 알고리즘으로 동시에 결정하고자 한다.

## 2. 유전자 알고리즘

1975년 John Holland에 의해서 제안된 유전자 알고리즘은 자연선택의 원리와 자연계의 생물 유전학의 적자생존에 기본원리를 두며 병렬적이고 전역적(global)인 탐색 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 기존의 다른 알고리즘보다 많은 최적화 문제에서 전역적이고 견실한 최적화 방법이다.

유전 알고리즘은 염색체에 해당하는 2진 문자열의 선택(selection), 교배(cross over), 돌연변이(mutation)를 거쳐서 다음 세대의 새로운 자손(offspring)을 인공적으로 만들어 내는 방법으로 진화해 나간다.

### (1) 개체의 표현

변수는 2진 문자열을 디코딩(decoding)하여 얻을 수 있다. 예를 들어 필요로 하는 변수  $x_j$ 의 범위가  $[a_j, b_j]$ 이고,  $a_j$ 와  $b_j$  사이에 5자리의 정밀도를 필요로 한다면, 필요로 하는 비트수(bits,  $m_j$ )는 다음 식에 의하여 얻을 수 있다.

$$2^{m_j-1} < (b_j - a_j) \times 10^5 \leq 2^{m_j}$$

그리고 2진 문자열로부터 변수  $x_j$ 는 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$x_j = a_j + \text{decimal}(\text{substring}_j) \times \frac{b_j - a_j}{2^{m_j} - 1}$$

### (2) 선택(selection)

집단내의 각 개체에게는 목적함수로부터 얻어지는 적합도( $p_j$ )의 크기에 비례하는 선택확률( $q_k$ )이 부과되고, 이 확률에 따라 개체들이 선택되어 교배 생성된다. 일반적으로 적합도가 큰 개체일수록 선택되어질 확률이 높다.

본 연구에서 사용한 선택확률은 다음 식과 같이 결정하였다.

$$q_k = \frac{p_j}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad k = \text{population size}$$

### (3) 교배(cross over)

교배는 각 개체들이 2진 문자열의 교환하는 과정이다. 선택확률에 의하여 2개체가 선택되어지고, 교배위치는 무작위로 선택되어진다. Fig. 1은 교배의 한 예를 보여주고 있다.

교배를 통하여 적합도가 높은 개체를 빠르게 결합하여 현재의 집단의 전역에 확산시키는 역할을 하며 다른 최적화 알고리즘에 없는 유전자 알고리

즘의 가장 중요하고 독특한 과정이다.

```
parent1 111010011 → child1 111011100
parent2 010001100   child2 010000011
```

Fig. 1 the example of cross over

### (4) 돌연변이(mutation)

교배를 통하여 집단이 적합함수를 기준으로 진화해 나간다. 그러나 지역해나 사점(dead corner)에 빠질 수도 있다. 이러한 것은 집단의 탐색공간상의 제한을 가져다 준다. 그러므로 이러한 제한성을 극복하기 위하여, 유전자를 전혀 다른 형태로 변화시키는 자연계의 돌연변이 현상을 모방한다. 돌연변이 확률에 의하여 개체의 비트를 임의로 변화시킴으로써 종을 다양화하고 탐색공간을 확대시킨다.

## 3. 광조형장치의 작업변수 결정

### 3.1 변수의 표현

본 연구에서 결정하고자 하는 변수는 적층두께와 조형자세이다. 적층두께의 다양화와 조형자세의 결정을 위한 변수는 Table 1과 같이 정의하였다.

Table 1 The information of parameters

변수명	비트수	최소값	최대값
X축 회전	10	-180	180
Y축 회전	10	-180	180
Z축 회전	10	-180	180
층의 두께1	3	0	7
층의 두께2	3	0	7
층의 두께3	3	0	7
층의 두께4	3	0	7
층의 두께5	3	0	7
적용높이1	12	*	*
적용높이2	12	*	*
적용높이3	12	*	*
적용높이4	12	*	*

\*: 물체의 높이에 따라 달라짐

X, Y, Z축 회전각도는 조형자세결정을 위한 변수이고, 층의 두께, 적용높이는 단면화를 위한 변수이다. 적용높이는 4개만 잡아놓았지만, 사용자가 임의로 적용높이와 두께의 개수를 조절할 수 있게 프로그램 되어있다. 적층두께1은 물체의 최소 Z값부터 적용높이1까지의 두께이고 적층두께2은 적용높이1에서 적용높이2까지의 두께이다. 그리고 적층두께5은 적용높이4에서 물체의 최고 Z값까지이다.

실제 폐속장비에서 기계적인 설정이 고정되어 있으면 적용할 수 있는 층의 두께는 한정되어 있다. 그러므로 층의 적용되는 적층두께를 Table 2와 같이 한정한다.

Table 2 Layer thickness for SLA

Index	0	1	2	3	4	5	6	7
두께	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.23	0.24	0.25

### 3.2 적합 함수

cusp height, 단면의 개수와 지지대의 면적을 구하고자 하는 본 연구에서 적합함수는 다음 식과 같이 적용하였다.

$$f = \frac{\alpha}{f_1} + \frac{\beta}{f_2} + \frac{\gamma}{f_3} \quad f \rightarrow \text{minimize}$$

$$f_1 = \text{maximum cusp height} + 0.01$$

$$f_2 = \text{the number of layer}$$

$$f_3 = \text{the area of support}$$

$$\alpha, \beta, \gamma: \text{weight factor}$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

여기서  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 사용자로부터 직접 입력받을 수 있고, 기본적으로 1:1:1의 형태를 취하고 있다.  $f_1$ 에 0.01을 더하는 것은 maximum cusp height가 0mm가 될 수 있으므로 0으로 나누는 오류를 피하기 위하여 0.01을 더한다.

#### (1) cusp height

cus height는 삼각형 퍼짓(facet)의 법선벡터와 적층두께로써 얻을 수 있다.

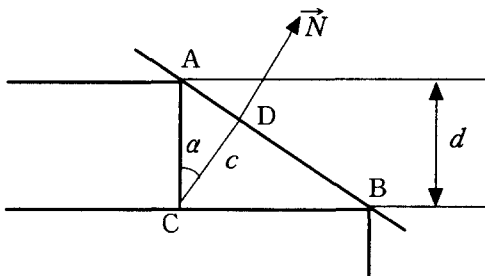


Fig. 2 Cusp height and a layer thickness

Fig. 2 과 같이 삼각형 ACD의 각  $\alpha$ 는 삼각형 퍼짓(facet)의 Z방향 법선벡터를 이용하여 구할 수 있다.

$$N_z = \sin \alpha$$

$$c = d \cdot \cos(90 - \alpha)$$

$$c = d \cdot N_z$$

위의 식과 같이 cusp height는 법선벡터와 적층 두께만으로 얻을 수 있다. 법선벡터는 물체에 따라 고정되어 있으므로 적층두께를 조절하여 최대 cusp height를 결정한다.

#### (2) 지지대의 면적

지지대가 필요한 부분의 면적은 삼각형 퍼짓(facet)의 법선벡터  $N_z$ 방향벡터의 크기로 지지대 필요 유무를 판별하였다. 일반적으로 경사의 각이  $45^\circ$  이상인 것은 point 지지대를 사용하고 각이  $60^\circ$  이상인 것은 line 지지대를 사용한다.<sup>[5]</sup> 각 지지

대의 종류에 따라서 가중치를 달리하였다. 그리고 Fig. 3 에서와 같이 지지대가 필요한 면적이 같더라도 지지대 부분에 오목한 형상이 있는 경우 후처리시에 겪는 불편이 많다. 이러한 점을 고려하기 위하여 지지대 밑부분에 아무런 형상이 없는 경우는 가중치를 0.9를 곱하고 있는 경우는 1.2를 곱하여 계산하였다.

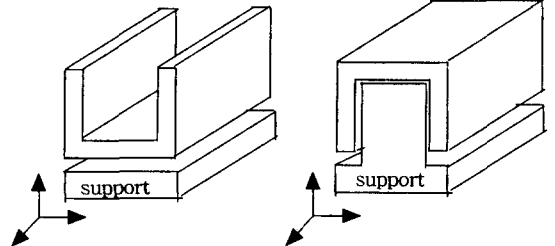


Fig. 3 The difference of support for orientation of same model.

### 3.3 유전자 알고리즘의 적용

**step1:** 초기 개체의 염색체를 무작위로 생성한다.

**step2:** X방향, Y방향, Z방향의 회전각도를 디코딩하여 모든 삼각형 퍼짓을 회전시킨다.

**step3:** 회전된 물체의 최대 높이와 최소 높이를 구한다.

**step4:** 층의 적용높이와 두께를 디코딩한다. 디코딩된 층의 높이와 두께를 이용하여 최대 cusp height를 구한다.

**step5:** 회전된 물체에서 지지대가 필요한 부분의 면적을 가중치를 곱하여 계산한다.

**step6:** 적합도를 계산하고, 이 결과를 이용하여 선택확률을 계산한다.

**step7:** 교배연산을 통하여 새로운 개체를 생성한다. 본 연구에서 사용된 교배방법은 2-point cross over이고 교배확률은 60%이다. 부모선택의 방법은 Tournament방법에 의하여 선택하였다.

**step8:** 돌연변이를 생성한다. 돌연변이 확률은 0.3%로 설정하였다.

**step9:** step2에서 step8까지 세대수만큼 반복한다.

### 4. 결과

적용사례로서 Fig. 4와 같이 컵 형상을 유전자 알고리즘으로 단면화와 조형자세를 결정하였다..

삼각형 Facet의 수는 186개로 구성되어진 Fig. 4의 컵 형상을 펜티엄 셀러론 550MHz, RAM 128MB에서 100세대 50개체로 유전자 알고리즘을 실행했을 때 약 59초가 소요되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 적응단면화의 단점을 보완하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 단면화와 조형자세를 결정하였다.

(1) 직접적인 계산에 의한 방법이 아니므로 아주 복잡한 형상이라 할지라도 쉽게 제작시간과 cusp height를 줄일 수 있다.

(2) 균일 단면화에 비해 정확도를 향상시키고, 조형자세를 바꿈으로 인하여 지지대가 필요한 면적을 줄이고, 단면의 개수를 줄이는 방법을 제시하였다.

(3) 후처리를 고려하여 조형자세를 결정하였다.

(4) 소프트웨어적인 방법을 동원하여 좀더 정밀도를 높이고, 제작시간을 단축시킴으로써, 쾌속조형의 비용을 절감할 수 있을 것이다.

앞으로 컴퓨터의 연산속도와 연산 알고리즘이 발전한다면 본 연구를 통한 적층두께 결정과 조형자세의 실용도가 높아질 것이다.

## 참고문헌

1. Paul F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing" Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 1992.
2. A Dolenc and I Makela, "Slicing Procedures for Layered Manufacturing Techneques", Computer-Aided Design, Vol.26, No.2, pp 119-126, 1994
3. Emmanuel Sobourin, Scoot A. Houser and jan Helge Bohn, "Adaptive Slicing Using Stepwise Uniform Refinement," Rapid Prototyping Journal, Vol. 2, No. 4 pp. 20-26, 1996
4. Po-Ting Lan, Shou-Yan Chou, Lin-Lin Chen, Douglas Gemmill, "Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus" Computer-Aided Deign, Vol. 29, No. 1, pp 53-62, 1997
5. 백인환, 김준안, 한창국 "STL file을 이용한 Support Algorithm에 관한 연구," 한국정밀공학파 95년도 춘계학술대회논문집 pp.164-168, 1995.
6. Mitsuo gen, Runwei cheng, "Genetic Algorithms and engineering design," A Wiley-Interscience Publication, 1997.

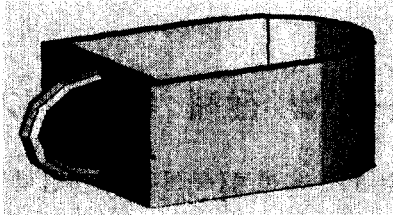


Fig. 4 The sample model

Fig. 5은 유전자 알고리즘의 실행결과 나타난 적합도(fitness)이다.

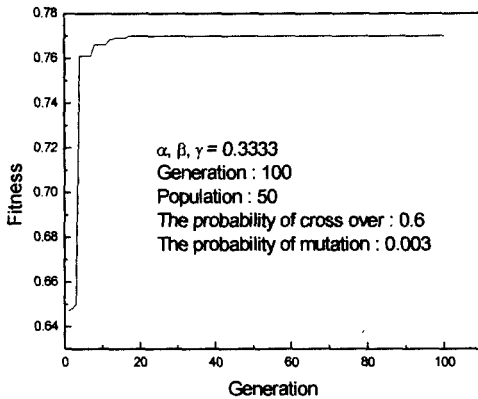


Fig. 5 Fitness vs Generation

유전자 알고리즘을 통해 나온 결과는 Fig. 6와 같다. Fig. 6의 1-2, 3-4, 5-6사이에는 Index값이 7 즉 0.25mm로 자르고, 2-3, 4-5사이에는 Index값이 3 즉 0.2mm로 자르는 것으로 결과값이 나왔다. 이렇게 적층두께를 조절하였을 때 최대 cusp height는 0.090mm가 되며, 층의 수는 113개가 된다. 반면 모두 0.2mm로 자르면 140개의 층수, 최대 cusp height는 0.090mm로 나오게 된다. cusp height의 수준을 그대로 유지하면서 층수를 약 19% 줄였다.

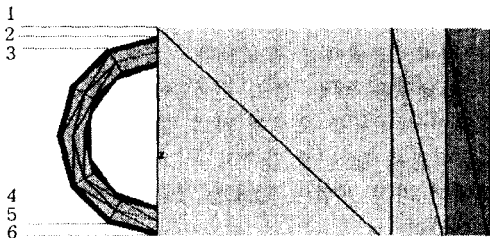


Fig. 6 The result of layer thickness

그리고 X,Y,Z 축을 중심으로 한 회전각도는 모두 0°이다. 실제로 지지대가 필요한 부분은 물체가 Y축 회전각도가 180°일때와 0°일때가 비슷하다. 그러나 후처리의 편리함을 고려하였으므로 0°일때의 적합도가 높게 나왔다.