

광조형물의 정밀도 향상을 위한 Laser 주사경로 생성에 관한 연구

최 흥 태*, 이 석 회**

A Study on Laser Scan Path Generation for Improving the Precision of Stereolithographic Parts

Hong-Tae Choi*, Seok-Hee Lee**

ABSTRACT

Nowadays, as the development period of new products becomes even shorter, the importance of Rapid Prototyping Technology(RPT) has been rapidly increased. The major application of RPT is an early verification of product designs and quick production of prototypes for testing. Moreover, RPT is applied not only as a second tooling process such as mold making and investment casting but also as a creating some physical structure in medical field. Despite the remarkable progress of RPT, it is required to improve various problems resulting from application such as production time, accuracy and materials. This paper presents a laser scan path generation for accuracy of stereolithographic parts. The methodology of laser scan path generation is discussed based on the Stereolithography. The procedure of this research is as follows: 1) Input laser scanning conditions such as a laser beam diameter and a laser scanning interval, 2) Reconstruct original contours without self intersecting offset, 3) Calculate offset about reconstructed contours, 4) Calculate intersection points between horizontal or vertical lines and offset contours for internal hatch, 5) Decide laser shutter on/off points. The algorithm developed and programmed by C language is verified as an efficient method after testing a number of STL files of mechanical parts.

Key Words : Rapid Prototyping Technology(급속조형기술), Stereolithography(광조형법), Laser Scan Path(레이저 주사경로), Self Intersecting Offset(꼬인 오프셋)

* 부산대학교 기계기술연구소

** 부산대학교 생산기계공학과 및 기계기술연구소

1. 서론

초기 산업계에서 급속조형기술(Rapid Prototyping Technology)은 시작품의 마스터 제작, 외판 확인, 디자인 평가, 기능 평가, 설계상의 오류 검증 등에 주로 응용되었지만, 지금은 간이 금형 제작, Investment Casting 등과 같은 2차 공정에 대한 연구와 현장 적용사례가 많이 발표되고 있으며, 의료분야에까지 범위를 넓혀가고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 연구는 급속조형을 위한 데이터 변환 소프트웨어 개발의 일부분으로 3차원 CAD모델로부터 변환된 STL(STereoLithography) 포맷을 수평면으로 슬라이싱하여 고층빌딩의 층과 같은 수평면의 연속 집합을 구한 선형 연구⁽³⁾에 이어서 계속된다.

CAD시스템에서 작성된 데이터(DXF, IGES 등)들은 광조형 장치에 바로 취급하기에는 부적합하다. 현재 급속조형 분야에서 산업표준으로 자리잡고 있는 STL 파일을 수평면으로 슬라이싱하게 되면 3차원 조형 대상을 2차원 단면의 연속으로 표현할 수 있다. 이와 같이 구한 슬라이스의 윤곽 데이터는 직선 세그먼트(line segment)로 구성되어 있다.

이러한 슬라이스 윤곽 데이터로부터 레이저 주사경로의 생성 결과에 따라서 성형이 완료된 조형물의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 따라서 레이저 주사경로를 생성할 때 고려해야 할 사항은 각 슬라이스를 성형할 때 변형이 최소화되고, 주어진 허용공차내에 정확히 주사되어야 한다는 점이다. 관련 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

국외에서는 M. Ganesan⁽⁴⁾ 등이 성형시간을 단축하고, 수지 비용을 줄이기 위해 조형물의 내부를 완전히 채우지 않고 NURBS 윤곽 곡선을 읍셋하여 레이저를 주사함으로써 내부가 비어 있는 조형물을 얻었다. 그러나 조형대상의 내부가 비어 있으면 들출된 부분이나 섬과 같은 부분에 지지대를 고려하여야 하고, 윤곽 경계가 전체 조형물을 지탱할 수 있을 만큼 안정되어야 하는 문제점이 있다.

M. Held⁽⁵⁾ 등은 직선과 원호로 이루어진 포켓형상의 가공을 위해 Voronoi diagram과 같은 기하학적 계산 방법을 사용하여 포켓 경계의 읍셋 및 최적의 공구경로 생성 알고리즘을 제시하였다.

E.M. Arkin⁽⁶⁾ 등은 지그재그 포켓 가공을 위해 윤곽(c-edge)과 내부(nc-edge)를 나타내는 모서리로 구성된 가공 그래프(machining graph)를 기초로하여 포켓 영역

을 반복적으로 가공하지 않도록 하는 선형시간 알고리즘에 대해 언급하였다.

A. Dolenc⁽⁷⁾ 등은 삼각형으로 표현된 3차원 모델로부터 2차원 단면 데이터를 생성하는 기본적인 기법들을 제시하였다. 후처리 가공시 제거되거나 부가되어야 할 계단효과와 영역을 보정하기 위한 읍셋 개념을 도입하였으나, 레이저 주사경로를 생성하는 것에 대해서는 언급하지 않았다.

국내에서는 안대건⁽⁸⁾ 등이 AutoCAD 환경에서 AutoLISP 언어를 사용하여 슬라이스 단면 데이터로부터 레이저 주사경로의 생성에 관한 연구를 하였다. 그러나 슬라이스 윤곽 주사시 읍셋을 고려하지 않았으며, 단방향(one way)으로만 레이저를 주사하기 때문에 효율이 떨어지고, 레이저 주사선이 윤곽선의 시작점 또는 끝점에서 만나는 경우, 레이저를 주사하지 않기 때문에 내부의 미세 영역에서는 성형이 되지 않는 문제점이 있다.

신민철⁽⁹⁾ 등은 레이저 주사경로가 될 단면 데이터를 AutoCAD에서 각 층의 형상을 선, 호, 원을 사용하여 드로잉한 후 DXF파일로 출력하고 해당 요소를 NC 프로그램의 G코드로 변환 하였다. 그러나 대부분의 급속조형 장치의 표준 파일로 STL 포맷 파일을 사용하기 때문에 호환성에 문제가 있으며 복잡한 3차원 형상의 단면 데이터를 수작업으로 작성하는 것은 현실적으로 어렵다.

본 연구에서는 조형 대상의 정밀도와 효율적인 성형을 위해서 읍셋을 고려한 레이저 주사경로 생성에 관한 기법을 제시하고자 한다.

2. 슬라이스 윤곽 데이터로부터 레이저 주사경로 생성 절차

Fig. 1의 .SLC 파일 포맷은 선형 연구⁽³⁾에서 생성된 2차원 슬라이스 윤곽 데이터로 SLICE No. 다음에 슬라이스 번호를 나타내고, SOL과 EOL 사이에 슬라이스 윤곽의 점 좌표값을 표시하고 있다. 본 연구에서는 .SLC 파일을 입력 데이터로 사용한다. 슬라이스 윤곽 데이터로부터 레이저 주사경로 생성 절차는 다음과 같다. 첫째, 레이저 빔(laser beam)의 직경과 레이저 주사 간격과 같은 가공조건을 입력받는다. 둘째, 입력된 .SLC 파일의 윤곽선에 대한 읍셋이 꼬이는 부분을 미리 제거한 윤곽선을 구한다. 셋째, 둘째에서 구한 윤곽선에 대한 읍셋을 계산한다. 넷째, 홀수 슬라이스는 $y=k$ 의 직선식과 읍셋 윤곽선과의 교차점을 구하고, 짝

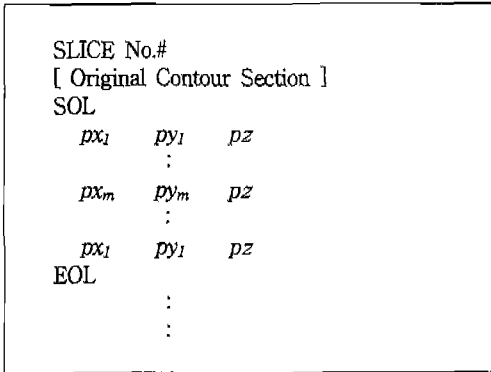


Fig. 1 .SLC file format

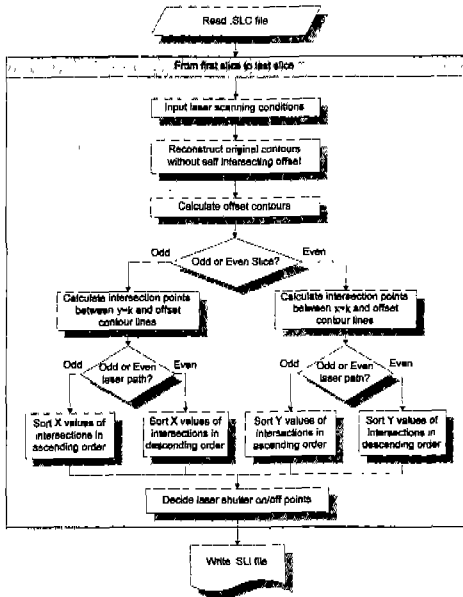


Fig. 2 Flow chart of laser scan path generation

수 층은 $x=k$ 의 직선식과 읍셋 윤곽선과의 교차점을 구한다. 다섯째, 각 층의 윤곽 내부를 지그재그 방식으로 레이저 주사하기 위해서 넷째에서 구한 교차점들을 홀수 번째 레이저 주사는 오름차순으로, 짝수 번째 레이저 주사는 내림차순으로 정렬한다. 여섯째, 슬라이스 윤곽 내부 즉, 레이저 셔터 ON 영역을 결정한다. 마지막으로 이상에서 구한 읍셋점과 해치점을, SLI 파일에 저장한다. 이상과 같은 레이저 주사경로 생성에 관한 알고리즘을 Fig. 2의 흐름도로 나타내었다.

3. 레이저 주사순서와 패턴 결정

슬라이스의 윤곽 직선 데이터로부터 레이저의 주사 경계점 즉, 레이저 셔터의 on/off점을 결정하여야 한다. 최종 시작점의 정도에 영향을 미치는 요소에는 수지의 특성, 레이저 주사속도, 슬라이스 두께, 지지대 구조 등이 있지만 직접 슬라이스 층을 만드는 데 관계되는 레이저 주사순서 및 패턴 또한 정밀도 측면에서 중요한 요소이다.

본 연구에서는 레이저 주사 패턴을 크게 다음과 같은 2가지 실험에 의해서 결정하였다.

첫째, 레이저 빔의 주사순서 실험에서 슬라이스 경계를 따라 먼저 주사한 다음 내부 영역을 채워 가는 방식이 그 반대의 경우보다 슬라이스 단면의 성형이 잘 됨을 알 수 있었다.

둘째, 내부 영역의 주사 패턴 실험에서 지그재그 방향으로, 홀수 번째 슬라이스와 짝수 번째 슬라이스를 직물 짜듯이 어긋나게 주사해서 성형한 층이 단일한 방향으로 레이저를 주사한 층보다 수축 또는 변형에 의한 뒤틀림이 생기는 현상을 더 잘 방지하는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 이상과 같은 실험적 결과를 기초로 Fig. 3에서와 같이 외부 경계(External border)와 내부 경계(Internal border)를 먼저 주사한 다음 경계 내부(Hatch pattern)를 채워가는 순서와 지그재그 방식으로 홀수와 짝수 번째 슬라이스를 직각으로 어긋나게 주사하는 패턴을 채택한다. 또한, 조형 대상의 슬라이스 생성 공정에서 2차원 단면 데이터를 이루는 페루프가 다중으로 존재할 때 레이저 빔의 보정을 위한 읍셋과 레이저 주사 영역을 정확히 구분하기 위해서 윤곽 선분 데이터들의 방향은 Fig. 3과 같이 외부경계를 이루는 직선 세그먼트

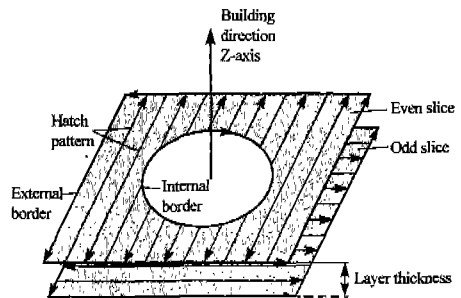


Fig. 3 Laser scanning order and pattern

트는 반시계 방향으로, 내부경계를 이루는 직선 세그먼트는 시계 방향으로 배열되어 있다.

4. 레이저 경로의 오프셋 및 내부 해치 생성

NC 가공에서 실제 절삭 경로는 공구의 중심이 이동하는 궤적이 된다. 따라서 공작물의 과절삭을 방지하기 위해 공구의 반경보정을 하게 되는데 레이저 주사 궤적도 같은 원리로 레이저 빔의 반경을 보정하게 된다. 대개 레이저 빔의 직경은 0.2~1.0mm로 기계 가공에 사용하는 공구의 직경보다 훨씬 작다. Fig. 4에서와 같이 레이저 빔의 보정을 하지 않은 상태로 슬라이스 윤곽을 따라갈 경우 조형물이 완성된 후 레이저 빔의 직경만큼 치수오차가 생겨서 완성된 조형물을 조립할 수 없는 문제가 발생한다. 초기의 광조형법에 사용된 아크릴레이트(acrylate) 수지는 액체에서 고체로 경화될 때 큰 수축률로 정밀도에 많은 문제를 야기시켰지만, 최근에 개발된 Ciba-Geigy사의 에폭시 수지(epoxy resin)와 Allied-Signal사의 비닐에테르 수지(vinylether resin)는 매우 낮은 수축률로 이러한 문제점이 거의 없어졌다. 따라서 본 연구에서는 수축률에 대한 요소는 고려하지 않는다.

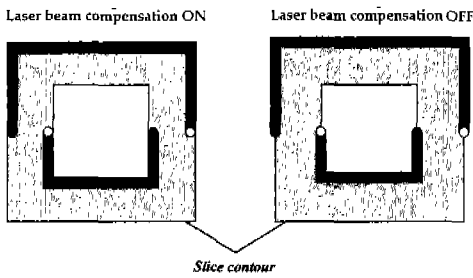


Fig. 4 Laser beam compensation for line profiles

4.1 슬라이스 경계에서 오프셋 방향 결정

슬라이스 윤곽 선분 데이터들이 구해지면 내부에 레이저 빔의 반경만큼 오프셋된 점 데이터를 구해야 된다. Fig. 5는 다각형 내부에 스스로 교차하지 않는 다각형이 존재하는 형상으로 반시계 방향의 바깥 윤곽 선분 데이터와 시계방향의 안쪽 윤곽 선분 데이터로 구성된 슬라이스와

오프셋 방향에 대한 예이다. 오프셋 방향은 \vec{a} 와 \vec{b} 의 벡터의 외적(cross product, vector product)인 \vec{c} 의 방향으로 알 수 있다. 여기서, \vec{a} 는 항상 z축 방향의 단위벡터이고, 윤곽 선분의 단위벡터인 \vec{b} 와는 항상 90°를 이룬다. \vec{c} 는 크기가 1인 단위 법선벡터이고, 방향은 항상 윤곽 내부를 가리키게 된다

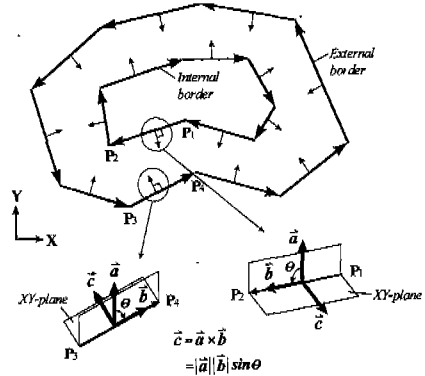


Fig. 5 Clockwise and counter-clockwise contours

4.2 오프셋이 꼬이는 부분의 제거 절차

슬라이스 윤곽 내부의 오프셋을 계산할 때 레이저 빔의 접근이 어려운 윤곽 선분에서 오프셋이 꼬이는 현상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 사용될 레이저 빔의 직경을 가공조건으로 입력받아 Fig. 6과 같은 이중 연결 리스트 구조를 사용하여 슬라이스 윤곽의 오프셋이 꼬일 수 있는 부분을 미리 제거한 새로운 윤곽 선분들을 계산한다. 이를 위한 세부적인 알고리즘은 다음과 같다.

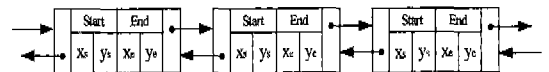


Fig. 6 Doubly linked list for removing self intersecting offset

(step 1) 이중 연결 리스트를 검색하여 Fig. 7과 같이 윤곽 선분 s_2 의 길이를 l , 레이저 빔의 반경을 r 이라고 할 때, $l < 2r$ 를 만족하고, 윤곽 선분 s_2 의 두 이웃 선분 s_1, s_3 과의 사이각 θ_1, θ_2 가 90°를 이룰 경우 오프셋이 꼬이는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 해당 윤

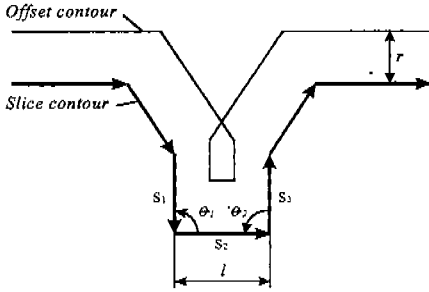


Fig. 7 Self intersecting offset(I)

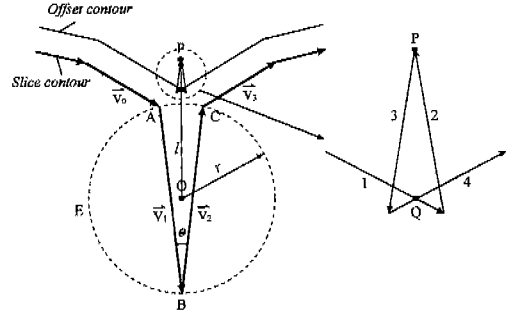


Fig. 9 Self intersecting offset(III)

각 선분 \$s_1, s_2, s_3\$을 제거하고, 이웃 선분의 교차점 계산에 의해 연결점을 구한다. 여기서 윤곽 선분 \$s_1, s_2, s_3\$의 제거는 해당 노드를 이중 연결 리스트로부터 삭제함을 의미한다.

[step 2] Fig. 8과 같이 윤곽 선분 \$s\$의 길이를 \$l\$, 레이저 빔의 반경을 \$r\$이라고 할 때 \$l < r\$ 경우 움푹이 끼이는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 없애기 위해 슬라이스 윤곽 선분의 길이가 레이저 빔의 반경보다 짧은 경우 해당 윤곽 선분을 모두 제거하고, 제거된 빈 구간의 연결은 이웃 선분의 교차점 계산에 의해 연결점을 구한다.

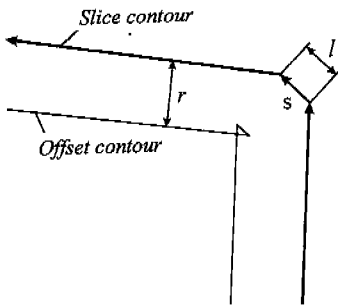


Fig. 8 Self intersecting offset(II)

[step 3] [step 1], [step 2]를 통해 대부분의 움푹이 끼이는 부분이 제거되지만 Fig. 9와 같이 이웃한 두 윤곽선 사이각이 \$\pi/2\$보다 작은 예각이고, 레이저 빔의 접근이 어려운 부분에서 움푹 선분을 계산하면 레이저 경로가 1→2→3→4의 순서가 되어 움푹이 끼이는 현상이 발생한다.

첨점 부분에서의 움푹 끼임을 해결하기 위해서 다음과 같은 단계를 거친다.

(1) 이웃한 \$\vec{v}_1, \vec{v}_2\$를 식(1), (2)에서의 위치벡터 \$\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}\$를 이용하여 구하고, 식(3)과 같은 벡터의 외적을 이용하여 그 사이각 \$\theta\$를 계산한다

(2) 사이각 \$\theta\$가 \$\pi/2\$보다 작을 경우 세 점 \$A, B, C\$를 삼각형으로 가정할 때 이 세 점을 통과하는 외접원 \$E\$를 구하고 다음 단계로 간다. 사이각 \$\theta\$가 \$\pi/2\$보다 같거나 클 경우 [step 1]로 간다.

(3) 두 윤곽선 \$\vec{v}_1, \vec{v}_2\$의 움푹 선분을 구한 다음 두 움푹 선분의 교차점 \$P\$를 계산하고 다음 단계로 간다.

(4) 외접원 \$E\$의 중심 \$O\$에서 교차점 \$P\$까지의 거리를 \$l\$이라 두고, 외접의 반지름을 \$r\$이라고 할 때

\$l > r\$이면 움푹 선분끼리 교차하는 것으로 판정하고 다음 단계로 간다. 그렇지 않으면 [step 1]로 간다.

(5) 두 윤곽선 \$\vec{v}_1, \vec{v}_2\$는 움푹 선분을 구할 때 제외시킴으로써 \$\vec{v}_0, \vec{v}_3\$에 의한 움푹점 \$Q\$를 구한다.

$$\vec{V}_1 = \vec{B} - \vec{A} = (B_x - A_x)\vec{i} + (B_y - A_y)\vec{j} \quad (1)$$

$$\vec{V}_2 = \vec{C} - \vec{B} = (C_x - B_x)\vec{i} + (C_y - B_y)\vec{j} \quad (2)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{|\vec{V}_2 \times (-\vec{V}_1)|}{|\vec{V}_2| |\vec{V}_1|} \quad (\text{단, } \theta < \pi/2) \quad (3)$$

4.3 슬라이스 윤곽 내부의 움푹 계산

슬라이스 윤곽 내부의 움푹 선분을 구하기 위해 레이저 빔의 반경만큼 움푹된 점 데이터를 구해야 된다. 이를 위

해서는 Fig. 5와 같이 윤곽 직선들로 구성된 슬라이스의 읍셋 단위벡터 \vec{c} 는 식(4)~(6)으로부터 단위벡터 \vec{a} 와 \vec{b} 를 구하여 식(7)과 같이 계산할 수 있다. 식(8)에서의 k 는 레이저 빔의 반경에 해당하는 읍셋량이다.

$$\vec{a} = 0\vec{i} + 0\vec{j} + 1\vec{k} = 1\vec{k} \quad (4)$$

$$\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} + 0\vec{k} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \vec{b} &= \frac{B_x}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}}\vec{i} + \frac{B_y}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}}\vec{j} \\ &= b_x\vec{i} + b_y\vec{j} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ b_x & b_y & 0 \end{vmatrix} \\ &= -b_x\vec{i} + b_y\vec{j} \end{aligned} \quad (7)$$

$$k\vec{c} = -kb_x\vec{i} + kb_y\vec{j} \quad (k > 0 : \text{offset 량}) \quad (8)$$

Fig. 10은 두 윤곽 선분을 이루는 점 $P_1 \sim P_4$ 로부터 각각 수직으로 $k\vec{c}$ 의 크기만큼 떨어져 있는 점 $Q_1 \sim Q_4$ 를 도식적으로 나타내고 있다. 따라서 읍셋의 직선식을 구하는데 필요한 두 점 Q_1 과 Q_2 를 식(9)~(12)로부터 구한다.

$$Q_{1x} = P_{1x} - kb_y \quad (9)$$

$$Q_{1y} = P_{1y} + kb_x \quad (10)$$

$$Q_{2x} = P_{2x} - kb_y \quad (11)$$

$$Q_{2y} = P_{2y} + kb_x \quad (12)$$

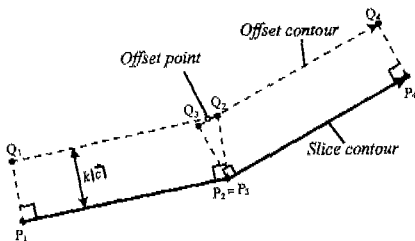


Fig. 10 Calculation of offset point

Fig. 10에서와 같이 점 Q_1, Q_2 와 이웃한 읍셋된 점을 Q_3 와 Q_4 라 하면 이들 점은 같은 방법으로 식(9)~(12)에 의해 구한다. 두 점 Q_1, Q_2 를 지나는 직선과 Q_3, Q_4 를 지나는 직선의 교차점인 읍셋점을 직선의 교차점 계산에 의해 쉽게 구할 수 있다. Fig. 11에서의 흰 점이 구하고자 하는 읍셋점이다.

4.4 Laser 주사경로 생성

슬라이스의 경계는 직선 세그먼트의 연속으로 이루어져 있다. 따라서 레이저 주사 경로점은 위의 직선 세그먼트와 레이저 주사방향의 직선식에 의해 아래와 같이 구할 수 있다 Fig. 11에서 흰 점은 경계부분을 주사하기 위한 읍셋점을 나타내고, 까만 점은 윤곽 내부를 채우기 위한 레이저 빔의 궤적을 나타내는 점으로 레이저 셔터의 on 또는 off되는 점이기도 하다.

(1) 홀수 번째 슬라이스층

홀수 번째 레이저 경로점은 레이저가 지나갈 수평선의 y 좌표값을 Y_{laser} , 읍셋 윤곽 선분을 이루는 두 점의 y 좌표값을 Y_{min}, Y_{max} 라고 하면, 레이저 주사선의 Y 좌표값이 $Y_{min} \leq Y_{laser} \leq Y_{max}$ 을 만족할 경우 두 직선의 교차점 x, y 좌표값을 식(13), (14)에 의해 구한다. 이렇게 구한 y 값은 Fig. 12 (a)의 다중 구조체 리스트의 $Y1$ 에 대입하고, x 값은 XInOut 구조체속의 $X1, X2$ 등에 할당한다.

$$x = x_1 + \left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right) (k_i - y_1) \quad (13)$$

$$y = k_i \quad (14)$$

(2) 짝수 번째 슬라이스층

짝수 번째 레이저 경로점은 레이저가 지나갈 수직선의 x 좌표값을 X_{laser} , 읍셋 윤곽 선분을 이루는 두 점의 x 좌표값을 X_{min}, X_{max} 라고 하면, 레이저 주사선의 X 좌표값이 $X_{min} \leq X_{laser} \leq X_{max}$ 을 만족할 경우 두 직선의 교차점 x, y 좌표값을 식(15), (16)에 의해 구한다. 이렇게 구한 x 값은 Fig. 12 (b)의 다중 구조체 리스트의 $X1$ 에 대입하고, y 값은 YInOut 구조체 속의 $Y1, Y2$ 등에 할당한다.

$$x = k_i \quad (15)$$

$$y = y_1 + \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) (k_i - x_1) \quad (16)$$

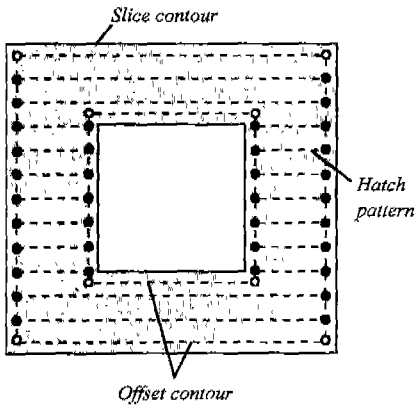


Fig. 11 Change points of laser shutter on/off

이상과 같이 구한 다중 구조체 속의 교차점들은 레이저 on/off 변경점으로 바로 이용하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 그 예를 들면 다음과 같다.

Fig. 13에서와 같이 ① $y=k_i$ 직선의 경우는 읍셋 윤곽선과 교차하기 때문에 교차점의 좌표값을 순서대로 배열하면 레이저 셔터 on/off점 생성에 문제가 없지만, ② $y=k_{i+n}$ 직선의 경우는 X3, X4 점 등과 같이 읍셋 윤곽선의 경계점에서 만나거나, 선분 S9와 같이 일치하는 경우 레이저 셔터 on/off 구간 문제가 발생한다. 이상과 같은 문제점 해결과 효율적인 레이저 경로 생성을 위해 Fig. 12와 같은 다중 구조체 리스트를 사용하여 다음과 같은 단계를 거친다.

[step 1] 슬라이스 윤곽 내부의 레이저 경로점을 지그재그 방식으로 배열하기 위해서 퀵 정렬(Quick Sort) 알고리즘을 사용한다. 먼저 홀수 번째 슬라이스에 해당하는 다중 구조체 리스트 속의 교차점 중 홀수 번째 레이저 주사인 경우는 X좌표값을 오름차순으로 정렬하고, 짝수 번째 레이저 주사인 경우는 Y좌표값을 내림차순으로 정렬한다. 반대로 짝수 번째 슬라이스는 Y좌표값에 대해 같은 방법으로 정렬한다.

[step 2] Fig. 13은 홀수 번째 슬라이스의 예로 레이저 주사관별 구간을 S1~S12로 나눌 수 있다. 각 구간의 레이저 주사 여부는 각 구간의 중점에서 오른쪽으로 수평선을 그릴 때 만나는 점의 개수가 홀수개이면 윤곽 내부에 존재하는 것으로 판정하여 레이저 셔터 ON 영역이 되고, 짝수개이면 윤곽 외부에 존재하는 것으로 판정하여 레이저 셔터 OFF 영역이 된다. 그러나 레이저 주사할 수평선이 읍셋 윤곽선의 경계점에서 만나거나 일치할 경우

다음과 같은 다각형 내부, 외부 판별규칙을 따른다.

(1) $y=ki+n$ 직선이 두 윤곽선의 시작점과 끝점에서 만나는 경우

② $y=k_{i+n}$ 직선의 y좌표값과 두 윤곽선의 y_{min} 좌표값이 같은 교차점의 개수만 센다. 예를 들면, X2 교차점의 경우 두 윤곽선 L1, L2와 만나지만 L1의 y_{min} 좌표값만이 ② $y=k_{i+n}$ 직선의 y좌표값과 같기 때문에 한 개만 센다. X3 교차점에서는 L3, L4의 y_{min} 좌표값 모두 ② $y=k_{i+n}$ 직선의 y좌표값과 같지 않기 때문에 하나도 세지 않는다.

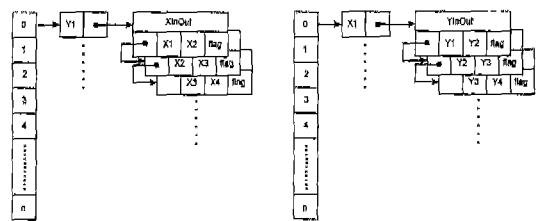
(2) $y=k_{i+n}$ 직선이 한 윤곽선과 일치할 경우

S9 구간과 같이 ② $y=k_{i+n}$ 직선과 윤곽선이 일치하는 경우 X9, X10 두 교차점의 개수를 모두 세지 않는다.

이상과 같은 규칙을 적용하면, 구간 S1의 중점 P1에서 오른쪽으로 수평선을 그릴 때 세는 교차점은 X2, X5, X6, X7, X8, X12, X13으로 개수가 7이 된다. 따라서 교차점의 개수가 홀수개이므로 레이저 셔터 ON 영역이 된다.

[step 3] [step 2]에서 레이저 셔터 on/off가 결정이 되면, Fig. 12의 XInOut 구조체 멤버인 flag에 ON 또는 OFF를 대입한다.

[step 4] Fig. 12에서 flag가 ON인 구조체만 포인터로 가리킴으로써 슬라이스 윤곽 내부의 레이저 주사경로점을 생성한다.



(a) Laser on/off point in odd layer (b) Laser on/off point in even layer

Fig. 12 Multi-structure list for decision of laser shutter on/off

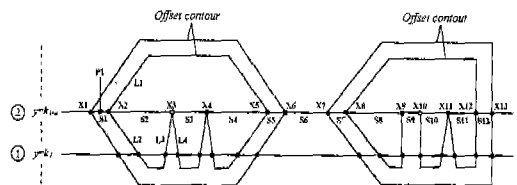


Fig. 13 Determination of inside and outside for laser path

```

SLICE_NUMBER
####
LAYER_THICKNESS
###
OFFSET_CONTOUR_SECTION
SOL
  x1  :  y1
  :
  xm  :  ym
  :
  x2  :  y2
EOL
:
END_SECTION
PARALLEL_LASER_PATH_SECTION
SOL
  x1'  :  y1'
  :
  xn'  :  yn'
EOL
:
END_SECTION
    
```

Fig. 14 .SLI file format

이상과 같이 구한 레이저 주사경로는 슬라이스 경계부와 슬라이스 내부영역에서 레이저 셔터 on/off점이 다르기 때문에 서로 구분되어야 한다. 이를 위해서 Fig. 14와 같은 .SLI 포맷으로 출력한다.

5. 적용예

본 연구에서 개발된 프로그램은 RAM 16Mbytes의 586PC에서 Borland C++ 4.5 컴파일러를 사용하였다. 레이저 주사순서와 패턴의 결정은 레이저 주사 실험 결과를 기초로 한 것이다. 실험에 사용한 수지는 우레탄 아크릴레이트(Urethane Acrylates)이고, 레이저는 빔 직경이 0.3mm로 35mW 출력의 성능을 가진 미국 Omnicrome사의 Helium-Cadmium Laser를 사용하였다. Fig. 15는 컵 모양의 STL 파일을 와이어프레임 방

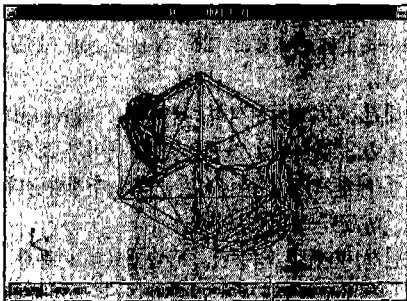


Fig. 15 Example(I) of STL file view

식으로 나타낸 것이며, 레이저 빔의 읍셋량과 레이저 주사간격을 각각 0.3mm로 하였을 때 생성된 읍셋과 레이저 주사경로를 Fig. 16, Fig. 17에서 보여주고 있다. Fig. 18은 세탁기에서 세탁조의 회전 운동을 지지하는 기능 부품으로 사용되는 float 형상의 STL 파일을 나타낸 것으로 레이저 읍셋량을 0.5mm로 두고, 레이저 주사 간격을 1.0mm로 하였을 때 생성된 슬라이스의 경계 부분의 읍셋과 레이저 주사경로를 Fig. 19, Fig. 20에서 나타내고 있다.

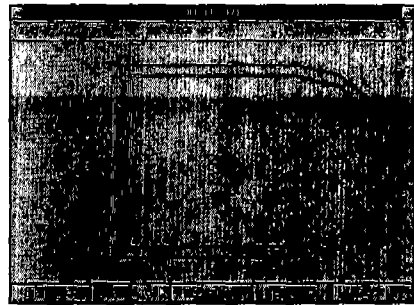


Fig. 16 Example(I) of offset view

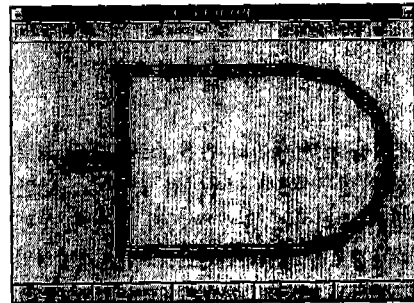


Fig. 17 Example(I) of offset and laser path view

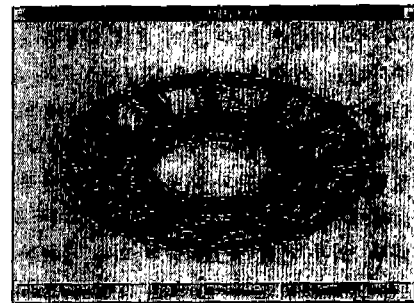


Fig. 18 Example(II) of STL file view

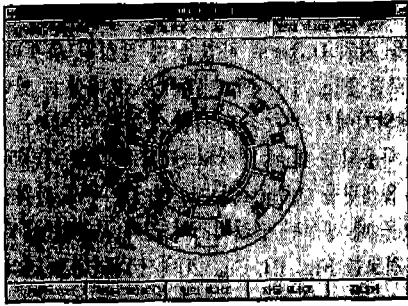


Fig. 19 Example(II) of offset view

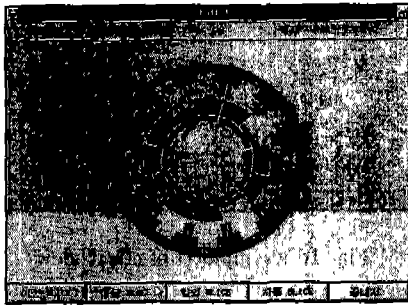


Fig. 20 Example(II) of offset and laser path view

6. 결론

급속조형을 위한 데이터 변환 소프트웨어 개발의 일부 분으로 선행 연구⁽³⁾에서 이루어진 슬라이스 단면 데이터를 입력받아 슬라이스 윤곽 경계의 오프셋과 윤곽 내부의 레이저 주사경로를 생성하는 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서는 레이저 주사 중 조형 대상의 변형과 성형이 완료된 조형물의 후 경화 처리할 때 발생하는 변형 등을 최대한 방지하기 위해서 레이저 주사순서는 슬라이스 윤곽 경계 부분을 먼저 주사한 후 윤곽 내부를 채워간다. 레이저 주사패턴은 홀수 층의 윤곽 내부를 x축과 평행하게 주사하고, 짝수 층의 윤곽 내부는 y축과 평행하게 주사함으로써 이웃한 층이 서로 어긋나게 적층되어 형상의 뒤틀림을 방지할 수 있다. 윤곽 내부의 레이저 주사경로를 생성할 때 윤곽 내부와 외부에 다수의 윤곽이 존재할 경우, 레이저 주사선이 윤곽 경계와 만나는 경우라도 다각형 내부, 외부 판별 알고리즘에 의해 정확한 레이저 주사경로를 생성할 수 있다. 그리고, 레이저 빔의 반경 보정을 위한 오프셋을 고려함으로써 완성된 조형물의 조립 검

사 및 간이 금형 제작과 같은 2차 공정에서의 정밀도 향상에 기여할 수 있다.

참고 문헌

1. P.F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography", Society of Manufacturing Engineers, 1st Edition, 1992.
2. P.F. Jacobs, "Stereolithography and other RP&M Technologies", Society of Manufacturing Engineers, 2nd Edition, 1996.
3. 최홍태, 김준안, 이석희, 백인환, "Stereolithography를 위한 STL파일로부터 단면정보 변환시스템의 개발", 한국정밀공학회지, 제12권, 제11호, pp.140~147, 1995.
4. M. Ganesan, G.M. Fadel, "Hollowing Rapid Prototyping Parts Using Offsetting Techniques", Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, pp. 241~251, 1994.
5. M. Held, G. Lukács, L. Andor, "Pocket machining based on contour-parallel tool paths generated by means of proximity maps", Computer Aided Design, Vol. 26, No. 3, pp. 189~203, 1994.
6. E.M. Arkin, M. Held, C.L. Smith, "Optimization Problems Related to Zigzag Pocket Machining", 7th Annual ACM-SIAM Symp. on Discrete Algorithms(SODA'96), Atlanta, Georgia, 1996.
7. A. Dolenc, I. Mäkelä, "Slicing procedures for layered manufacturing techniques", Computer Aided Design, Vol. 26, No. 2, pp. 119~126, 1994.
8. 안대건, 김준안, 이석희, 백인환, "StereoLithography로 3차원 형상 가공을 위한 레이저 조사경로 생성에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.687~692, 1994.
9. 신민철, 손현기, 양동열, "급속재료를 이용한 직접식 3차원 형상제조공정의 실험적 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.169~175, 1995.