

대형 형상 가공을 위한 레이저 주사 경로 생성

최 경 현* · 도 양 회**

A Study on Generation of Laser Scanning Path and Scanning Control

Kyung-Hyun Choi* · Yang-Hoi Doh**

ABSTRACT

Selective Laser Sintering(SLS) method is one of Rapid Prototyping(RP) technologies. It is used to fabricate desirable part to sinter powder and stack the fabricated layer. To develop this SLS machine, it needs effective scanning path and the development of scanning device. This paper shows how to make fast scanning path with respect to scan spacing, laser beam size and scanning direction from 2-dimensional sliced file generated in commercial CAD/CAM software. Also, we develop the scanning device and its control algorithm to precisely follow the generated scanning path. Scanning path affects precision and total machining time of the final fabricated part. Sintering occurs using infrared laser which has high thermal energy. As a result, shrinkage and curling of the fabricated part occurs according to thermal distribution. Therefore, fast scanning path generation is needed to eliminate the factors of quality deterioration. It highly affects machining efficiency and prevents shrinkage and curling by relatively lessening the thermal distribution of the surface of sintering layer. To generate this fast scanning path, adaptive path generation is needed with respect to the shape of each layer, and not simply x, y scanning, but the scanning of arbitrary direction must be enabled. This paper addresses path generation method to focus on fast scanning, and development of scanning system and control algorithm to precisely follow generated path.

Key Words : SFFS(Solid Freeform Fabrication System), Laser Scanning(레이저 주사), Laser Scanning mirror(레이저 주사 미러)

1. 서 론

* 제주대학교 기계에너지시스템공학부, 첨단기술연구소
Department of Mechanics Eng., Res. Inst. Adv. Tech, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술연구소
Department of Electrical & Electronic Eng., Res. Inst. Adv. Tech., Cheju Nat'l Univ.

대형 형상 가공을 위한 SFFS(Solid Freeform Fabrication System) 장비를 개발하기 위해서 중앙에 위치한 단일 레이저가 아니라 가공 면적을 2개로 분할하여 각각을 가공할 수 있는 이중 레이저 주사 장치가 필요하다. 레이저 주사 장치는 전체 장비의 정

밀도 및 효율성에 매우 큰 영향을 미치는 부분이다. 레이저 주사 장치는 슬라이싱 단면으로부터 주사 경로를 생성하는 부분과 생성된 주사경로를 잘 추종할 수 있는 주사 제어 부분이 있다.[1-4]

주사 경로는 STL(STereo Lithography) 파일로부터 단면 슬라이싱 데이터를 생성한 후 각각의 단면에서 레이저 주사가 되어야 할 부분과 다음 주사 경로로 이동하기 위한 부분이 있다. 이러한 주사경로를 생성하기 위해서는 우선 주사 간격(scan spacing), 레이저 빔 크기 등이 고려되어야 한다. 이러한 파라미터들로부터 주사 경로를 생성시키고 이 주사경로를 잘 추종할 수 있는 주사 제어가 필요하다. 주사 제어는 주사 경로를 잘 추종하면서도 고른 에너지 분포를 가지게 함으로써 치수 정밀도를 향상시킬 수 있다.

주사 경로 생성 알고리즘은 가공 정밀도 및 전체 가공 시간에 영향을 미친다. 열에너지에 의해 소결이 되는 SLS(Selective Laser Sintering) 장비의 특성 상 이미 소결이 이루어진 부분과 소결이 이루어지고 있는 부분 사이의 시간적인 지연으로 인한 열의 분포에 따라서 수축(shrinkage), 휨(curling) 및 왜곡(warping) 등이 발생한다. 따라서 이러한 열분포(thermal distribution)를 상대적으로 줄이면 전체 가공품의 정도는 향상되게 된다. 이를 위해서 빠른 주사 경로를 생성하는 것이 중요하다. 한 층의 주사 시간이 짧으면 짧을수록 열의 분포가 상대적으로 줄어들며 동시에 가공 시간도 단축시킬 수 있다. 이러한 빠른 주사 경로를 생성하기 위해서는 슬라이싱 단면, 즉 각각의 레이어의 형상에 따른 적응적인 경로 생성이 필요하다. 또한 하나의 레이어에 여러 개의 루프가 존재할 경우에는 각각의 루프의 형상에 따라서 주사 경로를 생성하는 것이 필요하다.

이러한 주사 경로는 가공 단면을 2개로 분할하여 각각 독립적으로 주사경로를 생성하여야 한다. 그러나 분할된 부분의 인접 영역에서는 레이저의 에너지가 중첩이 되는 부분으로 동기를 맞추는 필요성이 있다. 본 논문에서는 2개로 분할된 가공 단면에 대해서 빠른 주사 경로를 생성시키는 알고리즘에 대해서 기술하며, 동시에 슬라이싱 단면의 입력 및 주사 경로 생성, 주사 제어 등을 GUI 환경의 소프트웨어를 개발한다.

II. 관련 연구 및 이론

Chen[5]은 가공품의 휨(curling), 수축(shrinkage), 팽창(growth) 등을 줄이기 위해서 지능적인 주사 기술을 개발하였다. 그는 동일한 층이라 할지라도 다른 영역에서 레이저 파워, 주사 간격, 주사 속도 등을 개별적으로 최적화시킴으로써 이를 해결하려 하였다. 그리고 최하위층의 발생하는 바닥 성장(bottom growth)을 보상하기 위해서 Bonus-Z 모델을 개발하였다.

Park[6]은 STL 파일의 슬라이싱 단면으로부터 생성된 스캐닝 경로가 최종 가공품의 품질을 떨어뜨리는 단점을 보완하기 위해서 상용 소프트웨어에서 모델링된 형상을 곧바로 슬라이싱하여 주사 경로를 생성함으로써 가공품의 품질을 향상시켰다. 특히 복잡한 형상의 경우 가공품의 품질을 현격히 개선시켰다.

Yang[7]은 프랙탈 주사 경로(fractal scanning path)를 생성하여 일반적인 선형 경로보다 열분포(thermal distribution)의 편차 줄이게 함으로써 각 층간 혹은 같은 층의 인접 부분간의 열응력(thermal stress)을 완화시켜 최종적으로 발생하는 휨(curling)이나 수축(shrinkage) 현상을 줄였다.

Yang[8]은 윤곽으로부터 임의의 오프셋값(offset value)으로 경로를 생성하여 효율적인 스캐닝을 하는 방법을 연구하였다. 이는 윤곽 데이터로부터 안쪽, 바깥쪽을 구분하여 오프셋량 만큼 스캐닝 경로가 내부로 확장하면서 경로를 생성하는 방법으로 선형으로 주사하는 방법보다 더 빠른 속도를 가지며 더 고른 표면을 가지게 하였다.

III. 방 법

2개의 레이저를 이용한 주사 장치에서 주사 경로를 생성하기 위해서 우선 단일 레이저를 이용한 경우에 대해서 언급한다. 슬라이싱 단면 데이터를 분할한 후 각각에 대해서 주사 경로를 독립적으로 생성하기 때문에 동일하게 적용할 수 있다. 그러나 분할된 단면의 경계 부위에서는 동기를 맞추기 위해서 시작 시간 및 레이저의 파워를 조절할 필요가 있다.

3.1. 주사 경로 생성

상용 소프트웨어에서 생성된 2차원 슬라이싱 단면을 바탕으로 주사 경로를 생성한다. Fig. 1과 같이 3차원 모델링 형상으로부터 Fig 2와 같이 슬라이싱 단면을 생성시킬 수 있다. 이렇게 생성된 단면으로부터 Fig. 3과 같이 하나의 단면에 대해서 주사점들을 구한다. Fig. 4는 슬라이싱 단면에 대한 주사 경로 생성 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.



Fig. 1 Modeled part Fig. 2 Sliced sections

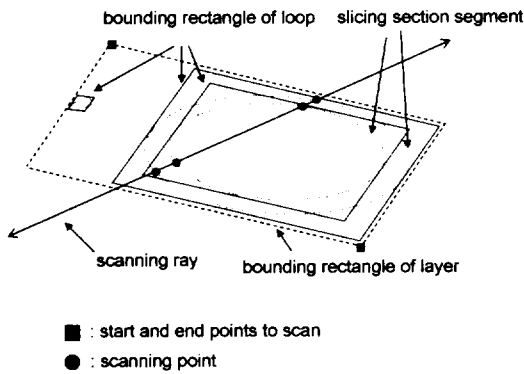


Fig. 3 Scanning points and terminologies

우선, 하나의 슬라이싱 단면에서 주사선(scanning ray)의 시작점과 끝점을 구한 다음 각각의 루프가 주사선과의 교점이 있는지 여부를 판별하여 교점이 있을 경우만 주사점을 구함으로써 불필요한 계산을 줄인다. 하나의 주사선과 각 루프를 이루는 선분(segment)들이 만나는 점들을 모두 구한 후 이를 정렬(sorting) 함으로써 주사 경로를 생성할 수 있다. 맨 처음 주사점으로 laser off로 이동을 한 다음, 다음 주사점까지 laser on으로 순서대로 laser on/off를 반복함으로써 주사되는 부분과 다음 주사를 위해서 건너뛰는 부분을 판별할 수 있다.

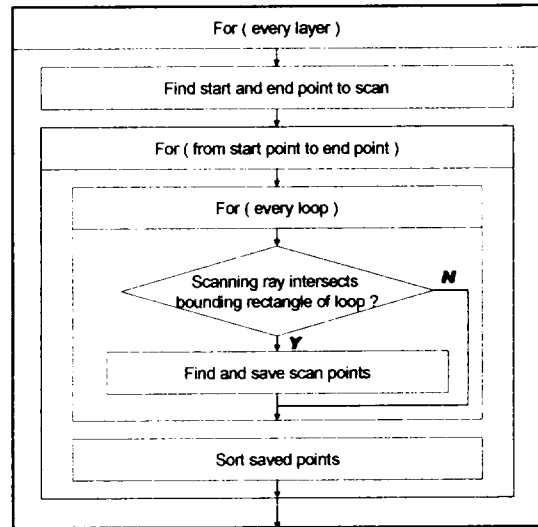


Fig. 4 Flowchart of scanning path generation

Fig. 5는 주사 경로 생성 알고리즘으로부터 생성된 경로 파일이다. 이러한 경로 파일은 동일한 모델링 형상을 재차 가공하고자 할 경우에 경로 생성 과정을 생략하고 곧바로 가공에 들어갈 수 있게 한다.

layer No.	x	y	laser on/off	param. 1	param. 2
0	9.4690	42.2500	0	0	0
0	8.6578	41.7817	1	0	0
0	10.4020	42.5000	0	0	0
0	7.9748	41.0987	1	0	0
0	11.3350	42.7500	0	0	0
.
.

Fig. 5 Generated scanning path file

3.2. 주사 경로 검증을 위한 중립 파일 생성

생성된 주사 경로는 가공하기 이전에 가시화시켜 예러의 여부를 판별할 필요가 있다. 또한 어떠한 경로를 가지는지 확인할 필요가 있기 때문에 상용 프로그램에서 읽어 들일 수 있는 중립파일이 필요하다. 생성된 경로는 모두 선형이므로 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 파일의 106번 요소(entity)를 이용하여 형식번호(form number)는 12로 세팅해서 선형경로요소(linear path entity)를 파일에 쓰게 된다. Fig. 6는 생성된 경로에 대한 IGES 파일을 나타낸다.

```

...$Pip,144Production Lab.,881125 4,0,32,8,24,8,55,,1,1,2,2888,1,3,5 G 1
,138102340,010011,0,00001,100000,0,,6,C: 2
106 1 3 1 1 0 0 003000C00D 1
106 0 2 2 2 2 0 003000C00D 2
106 2 0 1 1 0 0 003000C00D 3
106 0 2 2 2 2 0 003000C00D 4
106 3 0 1 1 0 0 003000C00D 5

106 0 2 2 2 2 0 0 1368 D 1368
106 685 0 1 1 0 0 003000C00D 1369
106 0 2 2 2 2 0 0 1370 D 1370
106 685 0 1 1 0 0 003000C00D 1371
106 0 2 2 2 2 0 0 1372 D 1372
106,2,2,5.064559926,41.30599388,0,,2.5000089,45.59885,0,,: 1P 1
106,2,2,5.3579625,3.39.16599263,0,,4.5001001,45.59885,0,,: 3P 2
106,2,2,1.651365701,37.02598938,0,,6.97669338,40.10056553,0,,: 5P 3
106,2,2,11.76546496,42.86537273,0,,16.50001144,45.59885,0,,: 7P 4
106,2,2,1.292837859,35.66429331,0,,4.244733157,37.36856907,0,,: 9P 5

106,2,2,14.41950475,-6.409136506,24.,17.92811523,-4.303441541,24.: 1361P 681
106,2,2,25.52046647,0.,24.,32.,3.740936501,24.: 1363P 682
106,2,2,15.0316545,-7.210412205,24.,17.7906942,5.617401552,24.: 1365P 683
106,2,2,27.52046519,0.,24.,32.,2.58625635,24.: 1367P 684
106,2,2,29.52046933,0.,24.,32.,1.431556198,24.: 1369P 685
106,2,2,31.52047076,0.,24.,32.,0.2768563469,24.: 1371P 686
50000010000000Z 1372P 686
    
```

Fig. 6 Generated IGES file

3.3. 주사 제어

Fig. 7은 생성된 주사 경로로부터 미러를 구동시키기 위한 흐름도이다. 주사 경로를 입력받은 다음 주사 미러를 초기화시키고 가공 명령(mark)과 다음 가공지점으로 이동시키기 위한 이동 명령(jump)으로 미러를 구동시킨다. 하나의 층의 소결이 완료되었을 경우에는 베드 제어기(bed controller)로 새로운 파우더 도포를 위한 신호를 보내고 도포 완료 신호가 입력될 때까지 대기한다. 이 때 미러를 home에 위치시키고 정렬한 후 다음 층을 가공하게 된다. 이러한 과정을 모든 레이어에 대해서 반복함으로써 전체 형상에 대한 가공이 완료된다.

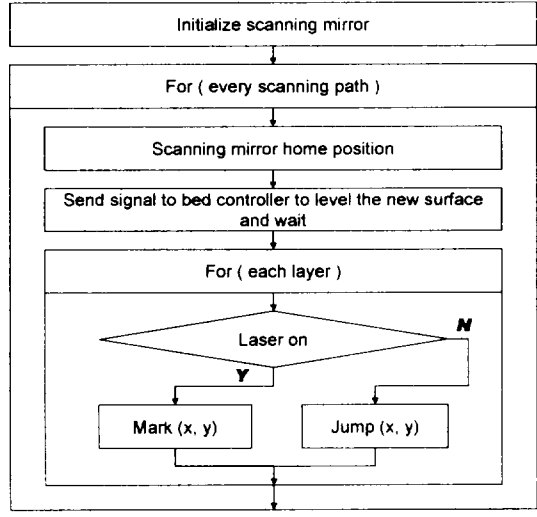


Fig. 7 Flowchart of driving scanning mirror

3.4. 2개의 레이저를 이용한 대형 형상 가공

3.4.1. 슬라이싱 단면의 분할

슬라이싱 단면은 2개의 레이저가 독립적으로 주사를 할 수 있도록 분할되어야 한다. 분할된 단면은 위에서 언급한 방법으로 각각 독립적으로 주사 경로가 생성되어지며 주사 제어가 이루어진다.

Fig. 8과 같이 X축 및 Y축에 평행한 주사 경로를 각 단면에 대해서 한번씩 반복함으로써 적층이 이루어진다. 분할된 단면의 경계 부위에서는 X축 및 Y축에 평행한 주사 경로가 독립적으로 주사 제어는 이루어지나 인접 부위의 분할 단면에 소결을 발생시켜 이를 고려해야 한다.

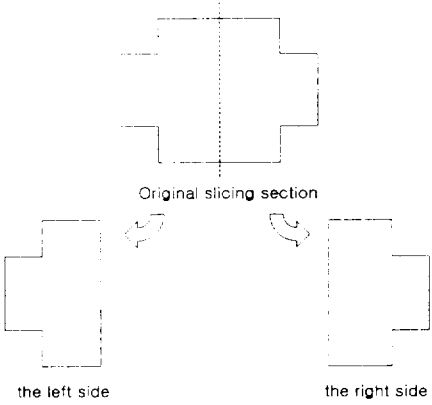


Fig. 8 Divided sections

3.4.2. 레이저 주사 제어의 동기화

Fig. 9와 같이 Y축에 평행한 주사 경로의 경우 주사 간격만큼의 경계 부위에서의 간격이 발생하도록 시작 위치를 조절한다. 즉, 분할된 단면의 경계부위에서 각각 동시에 다른 방향으로 주사를 해서 전체 단면의 균일성을 유지한다.

X축에 평행한 주사 경로의 경우 경계부위에서 단차가 쉽게 발생한다. 이는 각각 독립된 주사 경로의 시작 및 끝부분이 경계부위가 되기 때문에 레이저 에너지 분포를 고르게 할 수 없기 때문이다. 본 연구에서는 스캐너의 딜레이 타임을 경험적으로 조절함으로써 단면의 균일성을 잃지 않게 한다.

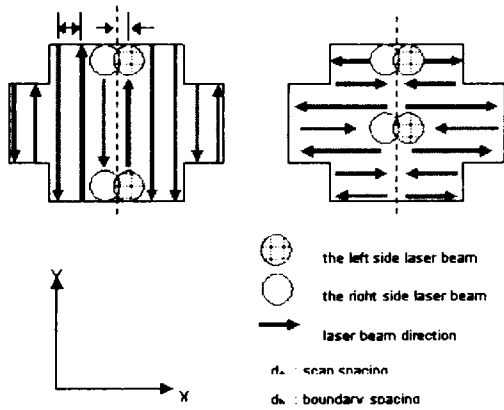


Fig. 9 Laser scanning path along X and Y axis

3.5. 결과

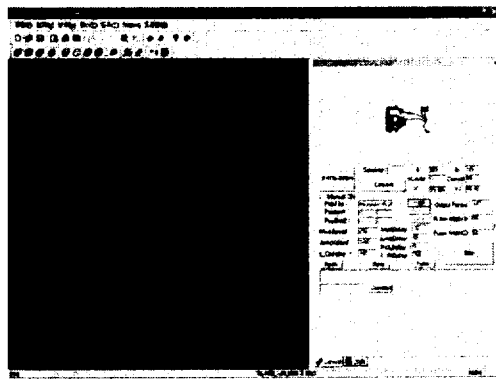
지금까지 언급한 알고리즘을 바탕으로 Visual C++ MFC 환경에서 경로 생성 및 미리 제어 프로그램을 구현하였다. Fig. 10은 본 논문에서 개발된 프로그램을 나타내며 초기에 측정 장비에서 얻어진 68번째 층과 105번째 층의 STL 파일을 보여주며 오른쪽 상단에 현재 층의 주사 경로를 나타내고 있다. 층 간격은 0.2mm로 하였으며, 주사 간격은 0.5mm로 하였다.

IV. 결 론

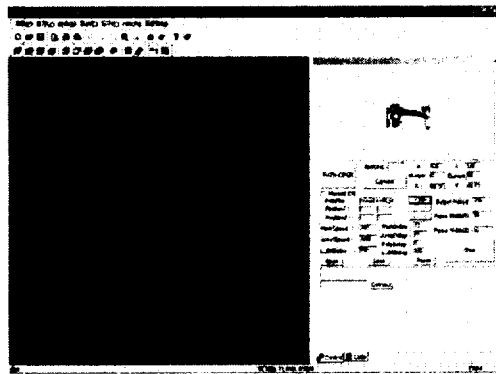
본 연구에서는 3차원 모델링된 형상으로부터 생성된 슬라이싱 단면을 입력데이터로 하여 빠른 주사 경로 생성을 위한 임의의 방향으로 주사 경로를 생성시켰다. 또한 미러를 제어하기 위한 프로그램을 개발하였다. 임의의 방향으로의 주사는 단면 형상 혹은 하나의 단면에서 루프의 형상에 따라서 적응적인 경로를 생성할 수 있으므로 기존의 x, y 축을 따라서 주사하는 방식에 비해서 가공 효율성 및 수축, 휨, 왜곡 등으로부터 치수 정밀도를 향상시킬 수 있다. 또한 대형 형상 가공을 위한 2개의 레이저에 대한 단면 분할 및 주사 제어를 하였다. 향후 연구 계획으로는 2개의 레이저를 이용한 가공에서 분할된 단면의 인접부위에서 단차가 발생하는 현상을 줄이고 정밀도를 향상시키는 것이다.

참고문헌

1. Chua C. K., Leong K. F. and Lim C. S., 2003, Rapid Prototyping : Principles and Applications, World Scientific Publishing, 2nd Edition.
2. Hur S. M., 2002, Generation of CAD Data for Rapid Product Development in Reverse Engineering, Pusan National University Graduate School, Ph. D. Thesis .
3. Kim H. C., 2003, Internet-based Intelligent CAD /CAM System for Rapid Product Development,



(a)



(b)

Fig. 10 Developed program and scanning path (a) scanning path in 68th layer, (b) scanning path in 105th layer

- Pusan National University Graduate School, Ph. D. Thesis.
4. Yang, H. J., 2003, Development of master model-based fabrication methods for the plastic parts of prototype car, Pusan National University Graduate School, Ph. D. Thesis.
 5. Kenwei Chen, 1998, INTELLIGENT SCANNING IN SELECTIVE LASER SINTERING, The University of Texas at Austin, Ph. D. Thesis.
 6. S. M. Park, 2000, Advanced Data Exchange for Solid Freeform Fabrication, The University of Texas at Austin, Ph. D. Thesis.
 7. J. Yang, H. Bin, X. Zhang, Z. Liu, 2003, "Fractal scanning path generation and control system for selective laser sintering(SLS)," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 34, pp. 293-300.
 8. Y. Yang, H. T. Loh, J. Y. H. Fuh and Y. G. Wang, 2002, "Equidistant path generation for improving scanning efficiency in layered manufacturing," Rapid Prototyping Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 30-37.