

StereoLithography로 3차원 형상가공을 위한 레이저 조사경로 생성에 관한 연구

A study on laser scan path generation for manufacturing 3-dimensional body using StereoLithography

* * ** **
안 대 건 김 준 안 이 석 회 백 인 환
Dae-Keon Ahn Jun-An Kim Seok-Ilee Lee In-IIwan Back

* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 생산기계공학과

ABSTRACT

This paper deals with the generation of laser scan path for manufacturing 3-dimensional body using StereoLithography. The purpose of this study is to develop one module of the StereoLithography system(SLA) for Rapid Prototyping and Manufacturing. AutoCAD system is used to supply CAD information from model. The X-Y controller which was made for a special purpose is used to test this system. The system software developed is composed of 3 main modules, the first module is calculating the boundary point of laser scan path. The second module is determining laser scan on/off point. The last module is generating final output file which is used to down load on the controller. The result of this study shows a good algorithm to generate laser scan path on the basis of simple mathematical background.

1. 서론

오늘날 소비자의 다양한 욕구로 인한 다품종 소량생산, 기능인력의 부족, 경제활동에 대한 노동 가치관의 변화 등으로 각 제조업체에서는 제품의 생산성(Productivity) 향상 및 대외 경쟁력을 높이기 위하여 제품의 설계, 생산 및 관리의 각 단계에서 여러 종류의 CAD/CAM시스템을 사용하고 있다. 그리고 본격적인 생산단계에 돌입하기 전에 부품의관 디자인, 조립성 평가, 금형 제작 등을 위하여 다양한 모델이 시험 제작되어 이용되며 이것은 전체 생산공정에 중요한 영향을 미친다. 그러나 이러한 3차원 모델을 제작함에 있어 절삭가공과 연계된 기존의 CAD/CAM시스템은 중공형상 등 내부구조를 포함하는 3차원 형상 가공, 공구간섭, 공구교환 및 마모, 진동, 소음 등으로 많은 한계성을 가진다고 볼 수 있다. 따라서 설계자의 자유로운 의도가 반영된 형상 이미지를 정밀한 작업 환경에서 신속하고 정확하게 모델로 구체화하거나 모델의 수정을 위하여 설계단계로 피드백하여 급속하게 프로토타입을 제작하는 기술이 긴급하게 요구된다. 이러한 Rapid prototyping & Manufacturing[1]을 위한 3차원 형상 제작방법중에서 한가지인 StereoLithography는 액체상의 광경화성 수지에 레이저광을 모델의 단면형상에 따라 조사(照射)하여 경화시키고 연속단면(slice)이 되는 경화층을 형성함으로써 인의 형상의 3차원 모델을 완성하는 방법이다.

StereoLithography기법을 이용한 3차원 형상가공시스템에 관하여 1990년 이후 미국, 일본에서 매년 여러건의 연구발표 사례[2]가 나오고 있으며 또한 상용 시스템이 제작 시판되고 있다. 그러나 모델의 정도(精度)와 시스템의 조작성 향상을 위한 소프트웨어 개선 및 개편, 광경화성 수지의 열팽창 및 수축에 따른 가공물의 영향등의 과제가 여전히 남아있다. 한편, 국내에서는 일부 자동차 업체에서 몇 대의 StereoLithography 시스템(SLA)을 도입하여 보유하고 있으나 시스템 운용만 하고 있으며, 학계의 관련문헌으로는 최진형상 부품가공을 위하여 형상의 단면데이터 보간으로 절삭가공과 연계된 CAM시스템에 이용된 연구[6]가 있고, 3차원 물체의 단면들로부터 형상 재구성에 관한 연구[7]가 있으나 이것 역시 직접 StereoLithography 기법을 적용한 형상가공에 대한 연구와는 거리가 있다고 볼 수 있다. 따라서 이 분야에 대한 체계적인 연구와 국내 관련 제조업체의 채택된 대외 경쟁력 향상을 위하여 StereoLithography시스템(SLA) 개발 및 적용이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 3차원 형상가공을 하기 위하여 StereoLithography 기법을 이용한 레이저 조사경로를 생성한다. 즉 CAD시스템에서 모델링된 3차원 가공형상 데이터를 입력파일로 하여 레이저 조사경로를 생성하여, 기구부의 컨트롤러에 맞는 NC 코드와 유사한 파일을 생성하는 소프트웨어 개발이 주 목적이다. 본 연구에서 다루는 데이터들은 대부분 X Y Z좌표값이기 때문에 프로그램의 오류를 검사하기 위해서는 프로그램을 작성하면서 그래픽으로 중간에 확인할 필요가 있다. 따라서 그래픽 환경이 기본적으로 제공되며 이를 이용할 수 있는 프로그램 환경이 갖추어져 있는 AutoCAD와 AutoLISP를 사용하여 레이저 조사경로 및 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, Sorting과 Merge 프로그램 및 최종 데이터 생성 프로그램은 C언어를 사용하여 코딩하였다.

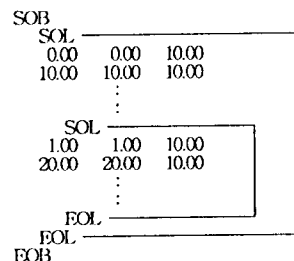
StereoLithography기법을 이용한 3차원 형상가공 장치에는 몇 가지의 시스템이 있고 각각의 시스템에 의해서 기기의 구성이 다소 달라지고 있다. 일반적으로 그림 1에 나타난 바와 같이 하드웨어는 레이저 발전장치, 레이저광 주사장치, 엘리베이터 장치, 광경화성 수지 및 킴프티로 구성된다. 소프트웨어의 구성은 3D CAD로 작성된 입체 형상의 데이터로부터 미지(merge)와 소팅(sorting)을 하여 2차원 단면(slice)을 재구성 하는 모듈, 처짐이나 비틀림이 발생하는 곳을 지지하기 위해 Support 데이터를 생성하는 모듈, 그리고 3차원 형상가공을 위한 레이저 조사경로 생성모듈, 컨트롤러에 입력시킬 최종출력파일 작성모듈등으로 구성된다. 본 연구에서는 하드웨어와 Support 데이터 생성모듈 제외한 3차원 형상가공을 위한 레이저 경로생성에 주안점을 두고 시스템을 개발하였다.

2. 시스템 구성

StereoLithography로 3차원 형상가공을 위한 레이저 조사 경로생성 시스템 구성은 그림 2.와 같이 가공할 형상의 2차원 단면데이터로 이루어진 경계점들을 일정한 형식으로 배치하여 이 파일을 입력으로 하여 가공형상의 임의 단면의 경계와 레이저 경로와의 교차점 즉 레이저 조사 경로의 경계점을 계산모듈, 그리고 이들 경계점들을 소팅(sorting)하여 레이저 시작점/종점을 결정모듈, 키프롤리에 다운로드 시킬 레이저 조사경로의 최종출력파일 생성 모듈등으로 구성된다.

2.1 가공형상의 입력파일 구조

CAD의 3차원 형상의 데이터를 StereoLithography기법을 이용하여 실험로 급속위체표현(Rapid Prototyping)하고자 하는 경우, 일반적으로 Pro-Engineer와 같은 3차원 CAD 시스템으로 모델링된 입체 형상으로부터 2차원의 단면(slice)을 제거 구성 해야 한다. 이때 CAD민환 파일을 이용해야하나 지금까지 주로 사용되고 있는 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)나 DXF(Drawing eXchange Format)파일로부터 3차원형상 정보를 추출하여 이용하기는 곤란하다. 왜냐하면 이들 파일에 입체형상을 구성하고 있는 요소들의 기하학적인 정보와 관련 위상정보들이 아주 산만하게 배열되어 있기 때문이다. 그리고 직접 3차원 형상인식으로 2차원 단면을 추출이 가능한 것이라고 생각할 수 있지만 역시 3차원 형상인식 [9] 자체가 오히려 대단히 어려운 문제다. 따라서 CAD 변환 파일의 일종인 이기종간에 호환성이 있는 STL(StereoLithography) 파일을 이용한다. 이 STL파일의 데이터 구조는 3차원 CAD 시스템으로 모델링된 입체 형상의 외관을 이리개의 삼각패치로 나누고 이들 패치를 구성하는 기하학적 요소와 관련 위상 정보 데이터를 일정한 형식의 ASCII 코드로 표현되어 있다. 이렇게 STL파일을 생성하는 과정은 본 연구의 전 단계로 연구가 이미 따로 수행되고 있으며 본 논문에서는 시스템의 입력 파일이 될 수 있는 3차원 형상의 임의 단면(slice) 데이터를 아래와 같은 형식으로 구성하였다. 즉 그림 3.과 같이 가전제품의 외관, 부품등 산입의 여러 분야에서 일반적으로 가장 많이 다루어지는 중공형상을 대상으로 설명하면 형상의 단면경계 데이터는 한 페루프가 다른 한 페루프 내부에 속한 경우로서 데이터 구조는 다음과 같이 구성된다. 형상의 임의 단면(slice)의 데이터는 slice의 시작을 의미하는 SOB(Start Of Block)로부터 단면의 끝을 표시하는 EOB(End Of Block)로 구성된다. 따라서 입력 데이터의 형식은 아래와 같이 Z값이 같은 단면 경계 데이터들(X, Y, Z 좌표값)이 인덱스 스트링 SOB와 EOB 사이에 표시되어지므로 Z값이 다른 단면 경계 데이터들과 구분이 되어진다. 단면을 구성하고 있는 경계 데이터들이 두 개의 페루프로 형성될 때는 데이터 파일 구성은 바깥 페루프를 이루는 데이터를 먼저 SOL(Start Of Loop)과 EOL(End Of Loop)사이에 나타내고 그 내부에 SOL과 EOL 사이에 단면의 안 쪽 경계데이터를 표시한다.



2.2 레이저 조사경로 경계점 계산 모듈

레이저 조사경로를 생성하기 위하여 가공형상의 2차원 단면 데이터를 입력 파일로 조사경로 시작점 및 끝점(laser scan on/off point)을 결정해야 한다. 그러나 이러한 시작점 및 끝점들을 결정하기 전에 가공형상의 2차원 단면의 경계와 레이저 경로와의 교차점 즉 레이저 조사 경로상에서 경계점들을 먼저 계산해야 한다. 그림 4.는 레이저 조사 경로 경계점 결정 흐름도를 나타낸다.

(1) line segment의 정의

입력 파일에서 형상 단면의 경계데이터의 시작을 의미하는 SOB(Start Of Block)인덱스 스트링이 첫 번째줄에 있고, 다음 둘째 줄에는 페루프 데이터의 시작을 뜻하는 SOL이 표시되어 있으며 그다음 셋째 줄부터 가공형상의 임의 2차원 단면의 경계를 일정한 기준점으로부터 반시계방향으로 순서대로 페루프를 형성하고 있는 점데이터들이 파일의 각 줄에 차례로 배열되어 제일 마지막에 루프의 첫 번째 점데이터가 배치되어 있다. 여기서 2차원 단면의 경계를 따라 연속하여 차례로 배열되는 두 점은 그림 5.와 같이 임의 직선의 시작점(start point)과 종점(end point)이 될 수 있다. 본 논문에서 이러한 두점으로 이루어진 직선을 line segment라 정의 한다.

(2) 레이저 조사간격

가공대상물에 따라 요구되는 정밀도는 다르다. 일반적으로 조사간격이 넓으면 가공물의 표면도 기침이 진다. 그리고 조사간격이 넓어진 수록 수지는 경화과정에서 비틀림이 커지게 되어 형상오차를 야기시킨다. 특히 형상의 돌출부위는 심각한 영향을 받으며 이러한 돌출부의 형상에 대해 민형이 최소가 되는 조사간격이 존재하는 것으로 알려져 있다. 따라서 사용자 요구되는 가공물의 정밀도에 따라 일정한 조사간격을 입력해야 한다.

(3) 레이저 조사 순서 및 방향

가공물의 형상 민형을 최소화 하기 위하여 레이저 조사 순서 및 조사방향을 다음과 같이 한다. 먼저 홀수번째 단면에서는 아래 그림 6. (a)와 같이 레이저 조사순서는 조사경로가 Y축과 평행되게 하여 one-way방식으로 X값이 증가하는 순서로 step을 전진시켜 조사한다. 조사방향은 임의 경로상에서 최소 Y값에서 최대 Y값으로 정한다. 한편, 짝수번째 단면에서는 그림 6. (b)에서 보는 바와 같이 조사방향을 홀수번째 단면과 지교 시킴으로써 형상민형을 최소화 시키고 그에 따라 조사순서와 방향은 다음과 같이 된다. 즉 조사경로는 X축과 평행되게 하여 one-way방식으로 Y값이 증가하는 순서로 step을 전진시켜 조사한다. 조사방향은 임의 경로상에서 최소 X값에서 최대 X값으로 정한다.

(4) 레이저 조사 경로와 line segment의 교차점 계산

단면의 경계는 위에서 설명한 바와 같이 line segment의 연속으로 이루어져 있다. 따라서 가공형상의 2차원 단면의 경계와 레이저 경로와의 교차점은 레이저 경로의 직선식과 line segment식이 만나는 점이 된다.

즉 짝수번째 단면에서 레이저 경로식은

$$y = p_n \dots\dots\dots(a)$$

그리고, 두 점 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 으로 이루어진 line segment의 식은

$$y - y_1 = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1) \dots\dots\dots(b)$$

로 표시할 수 있다. 그러므로 (a), (b)두식을 동식으로 두어 교차점을 구한다. 마찬가지로 홀수번째 단면에서도

$$x = p_n \dots\dots\dots(c)$$

그리고, 두 점 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 으로 이루어진 line segment 의 식은 다음과 같다.

$$x - x_1 = \frac{(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)}(y - y_1) \dots\dots\dots(d)$$

위 (c), (d)두식을 동식으로 두어 line segment와 레이저 경로 외의 교차점 즉 레이저 조사경로 경계점을 결정한다.

(5) 교차점 출력파일에 저장

구한 경계점들은 임의의 레이저 조사 경로상에서 laser scan 시작점(on-point) 또는 종점(off-point)의 한 점으로 출력파일에 다음과 같이 일정한 형식으로 저장한다.

가공형상의 임의단면에서 레이저 경로와 단면경계 데이터의 교차점을 의미하는 인덱스 스트링 SOIN(Start Of INner)을 파일의 첫째줄에 쓴다. 그리고 둘째줄부터 단면을 이루는 경계의 line segment와 레이저 경로와의 교차점의 X, Y, Z좌표값을 소수점 이하 둘째자리 정밀도로 한줄씩 마지막 교차점 까지 배치시키고 한 단면에서 교차점 데이터의 끝남을 표시하는 EOIN을 쓴다. 즉 아래 임의 단면에서 레이저 경로 전진 길이가 0.2로써 레이저 경로와 단면경계와의 교차점 데이터들이 파일에 쓰여진 모습을 보이고 있다.

```
SOIN
21.00      0.20      6.00
21.71      0.40      6.00
22.12      0.60      6.00
...
...
...
0.00      0.20      6.00
0.00      0.00      6.00
EOIN
```

(6) 교차점 화면상에 display

앞에서 구한 경계점들의 정확성을 확인하기 위하여 AutoCAD 화면상에 display 한다. 가공대상형상은 일반 가정용 제품의 외관 형상으로 잘 이용되는 shell type의 형상을 선정하였다. 그림 7은 view point가 (1,1,1)로 가공형상의 임의의 단면상에서 레이저 경로 경계점들이 찍혀지고 있는 모습을 나타내고 있다.

2.3 레이저 조사 시작점/종점 결정 모듈

위에서 계산된 경로 경계점들은 임의의 레이저 조사 경로상에서 레이저 조사 시작점(on-point) 또는 종점(off-point)의 한 점이므로 최종 레이저 조사 경로를 구하기 위하여 레이저 조사 시작점/끝점(laser scan on/off point)을 결정해야 한다.

먼저, 레이저 경로상의 경계점들을 x축 또는 y축을 따라 크기순으로 소팅(sorting)한다. 소팅은 경로 경계점들을 차례로 읽어들이 그림 8. (b)에서와 같이 홀수번째 점을 scan on point, 짝수번째 점을 scan off point로 설정한다. 만약, 여기서 한 step의 레이저 조사 경로상에서 교차점의 갯수가 홀수개이면 레이저 조사 경로적선이 그림 8. (a)와 (c)에서 나타나는 바와 같이 단면경계의 침입과 만나는 점이 되어 위와 같이 홀수, 짝수 번호 순서대로 레이저 조사 시작점과 끝점을 정할 수 없게된다. 따라서 홀수번째 단면에서는 같은 X좌표 값을 가지는 교차점의 갯수가 홀수인 경우 그 점들을 소팅과 정에서 비린다. 또한 짝수번째 단면에서도 마찬가지로 임의의

레이저 경로상에서 같은 Y좌표값을 가지는 교차점의 갯수가 홀수인 경우 그 점들을 소팅과 정에서 제외시킨다. 그러므로 임의의 레이저 조사 경로상에서 조사 시작점 및 종점의 짝이 들어맞게 된다. 한편, 제외된 레이저 경로는 레이저를 우선형상의 경계부터 먼저 조사시킴으로써 단면에 대한 불완전한 조사를 방지한다. 이렇게 하여 최종 레이저 조사 경로가 결정된다.

2.4 최종 출력파일 생성 모듈

레이저 조사경로를 생성한 후 기구부 컨트롤러가 받아들일 수 있도록 일종의 NC코드와 유사한 형식을 갖는 출력파일을 만들어야 한다. 본 논문에서는 출력파일 형식을 시험 제작용으로 특별히 설계된 기구부의 스탠딩 모터 제어를 위하여 적절하게 이용될 수 있도록 구성하였다. 물론 Stereolithography기법을 이용한 3차원 형상가공용의 FANUC사 NC 전용 컨트롤러가 있다면 최종 출력파일은 기존 NC코드와 같은 형식을 가질 것이다. 최종 출력파일 형식은 표 1과 같이 일련번호, x좌표값, y좌표값, slice 번호, laser on/off, 속속으로 표시한다.

표 1. DATA FORMAT

일련번호	x 좌표값	y 좌표값	slice 번호	laser on/off	속성
00000000	0000000	0000000	0000	0	0
				1	1

controller는 빈 칸을 만나면 한 data가 끝난 것으로 간주한다. 일련 번호는 기구부에 주는 명령 line의 수이고,

x, y좌표값은 레이저 조사 시작점 또는 종점으로 소수 둘째 자리까지 나타내었다. 그리고 slice 번호는 가공형상의 임의 단면의 z좌표값을 표시하고, 첫 slice를 1로 둔다. 기구부에서는 생성하는 기준 좌표값만 있으면 z 좌표값이 따로 필요 없고, 몇 번째 slice인지만 알면 된다. 한편 laser on/off에서는 1을 on으로 0을 off로 한다.

속성은 가공형상의 부위에 따라 요구되는 laser의 조사속도를 단리하여 높은 강도를 요하는 부위는 조사 속도를 느리게 함으로써 수지의 경화 강도를 높일 수 있다. 그리고 여기서 출력파일의 마지막임을 기구부 controller에게 인식 시켜야 한다. 즉 최종출력파일 마지막줄의 x 좌표값에 9를 6개 표시한다. 아래 표 2는 최종 출력파일의 예를 나타내고 있다.

표 2. 최종 출력파일 예

①	②	③	④⑤⑥
0	000100	000100	1 1 0
1	000500	000100	1 1 0
2	000500	000400	1 1 0
3	000100	000400	1 1 0
4	000100	000100	1 0 0
5	000200	000100	1 1 0
6	000200	000400	1 0 0
7	000300	000100	1 1 0
8	000300	000400	1 0 0
9	000400	000100	1 1 0
...			
259	000550	000450	25 1 1
260	000050	000450	25 1 1
261	000050	000050	25 0 1
1000001	999999	000000	1000 0 0

3. 적용 예

본 연구를 통하여 StereoLithography기법으로 3차원 형상 가공을 위한 개발된 레이저 조사경로 생성 시스템을 일반적으로 가진제품의 형상에 널리 쓰이는 셸(shell)모양의 형상에 적용하여 생성된 레이저 조사경로를 AutoCAD화면상에 그림 9와 같이 view point가 (1,1,-1)로써 나타내었다. 가공대상 형상의 레이저 조사경로를 시각적인 구별이 용이하도록 가공형상의 내부는 흰색으로 경계는 빨간색으로 처리하고, 레이저 조사 시작점/끝진 상태를 한 경로상에서 조사 시작(on)상태에서 화면상에서 가공되고 있다는 표시로 선(line)을 그어주고 끝(off)상태에서 선이 끝나게 하여 레이저 조사경로를 구분하여 확인 및 검증이 가능하였다.

4. 결론

본 연구에서는 Rapid Prototyping & Manufacturing의 한 방법인 Stereolithography 기법으로 3차원 형상가공을 위하여 레이저 조사경로를 생성하는 시스템을 구성해 보았다. 레이저 경로 생성을 위하여 3차원 CAD에서 모델링된 입체형상으로부터 레이저 조사경로 생성에서 필요한 기하학적인 정보추출에 관하여 논의하였으며, 이러한 정보를 가진 입력 파일로부터 이러한 지 가공조건을 부여하여 레이저 조사경로를 생성하였다.

본 연구결과로부터 제시된 레이저 조사경로 생성 시스템은 다음과 같은 특징을 가진다.

(1) 자유곡면과 같은 복잡한 3차원 형상 가공시 기존 절삭 가공은 CC(cutter contact), CL(cutter location)데이터, 오프셋(offset)경로 생성등 공구경로 산출을 위하여 많은 수학적 배경이 요구되나 본 연구에서는 형상의 단면 경계데이터를 이용하기 때문에 비교적 간단한 수학적 조작으로 레이저 조사경로 생성 프로그램을 개발하였다.

(2) 절삭공구로 가공할 수 없는 복잡한 내부구조를 가진 링과 같은 입체물도 한 번의 공정으로 자동적인 제작이 가능하다.

(3) 프로그램 수행중에 데이터가 처리되는 상황을 화면상에 시각적으로 나타냄으로써 오류데이터 검증이 용이하다.

(4) 프로그램이 서로 독립적으로 모듈화되어 있기 때문에 가공형상의 새로운 단면 형상인식 알고리즘 추가가 가능하고, 개선된 모듈의 연결이 간단하다.

그리고, 추후 연구과제로는

(1) 가공의 정밀도와 효율을 높이기 위하여 레이저 조사경로를 지그재그(zigzag or back & forth)방식, 나선형(spiral)방식등 여러가지 가공방식이 적용될 수 있도록 해야한다.

(2) 가공형상의 단면데이터로부터 레이저 조사경로 생성시 아주 방대한 데이터가 요구됨으로써 시스템 운용에 무리가 따를 수 있으므로 가공형상의 특징을 결정하는 단면간에 보간등의 방법으로 처리 데이터를 줄일 수 있는 연구가 진실히 요구된다.

(3) 3차원 CAD 시스템으로 모델링된 입체형상으로부터 인하고자 하는 형상정보를 추출하여 형상의 단면 재구성을 용이하게 할 수 있는 연구가 병행되어야 한다.

(4) 레이저 조사 속도, 방향, 간격, 순서 및 수지 특성 등과 같은 가공조건들을 계산식과 데이터북 그리고 실험에 의해서 최적의 가공조건들을 수집하여 이를 데이터베이스화할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Paul F. Jacobs, Rapid Prototyping & Manufacturing, SME, 1992
- [2] Donahue, R.J. and Turner, R.S., CAD Modeling and Alternative Method of Information Transfer for Rapid Prototyping Systems, Second International Conference on Rapid Prototyping, University of Dayton, Conference Proceedings, pp. 221~235, June 23-26, 1991.
- [3] M. J. Zyda, R. J. Allan, and P. G. Hogan, "Surface construction from planar contours", Comput. Graph., Vol. 44, 1988, 1~29
- [4] C. Bradley, G. W. Vickers, "Automated Rapid Prototyping Utilizing Laser Scanning and Free-Form Manufacturing", Annals of the CIRP Vol. 41, pp. 437~440, 1992.
- [5] S. E. Razzavi, D. A. Milner, "Design and Manufacture of Free-Form Surfaces by Cross-Sectional Approach", Journal of Manufacturing Systems Vol. 2, No. 1, pp. 69~77.
- [6] S. H. Suh, K. S. Lee, "A Prototype CAM System for Four-Axis NC Machining of Rotational-Free-Surfaces", Journal of Manufacturing Systems Vol. 10, No. 4, pp. 322~331.
- [7] 박형준, 김광수 "단면정보를 이용한 형상의 재구성" 한국정밀공학회지, 제10권 제4호, pp.81~93, 1993
- [8] B. K. Choi, Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier, 1990
- [9] S. L. Chen, Z. Chen, R. K. Li, "A DGR method for extracting the topology of an upper-half profile of a turned part from CAD data", International Journal of Computer Intergrated Manufacturing, Vol. 4, No. 1, pp.45~56, 1991.
- [10] Joshi. s. and Chang. T. C., "Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined features from a 3D Solid Model", Computer Aided Desin, Vol. 20, No. 2, 1988.
- [11] 안대진, 최홍태, 이석희, "자유곡면으로부터 단면정보를 이용한 형상계획에 관한 연구", 대한산위공학회 춘계 학술논문집, 1994.
- [12] Pro/ENGINEER User Guide, Parametric Technologies Corp., Version 11.
- [13] Hutchison R. C. and Just S. B., Programming using the C Language, McGraw-Hill Book Co, 1988

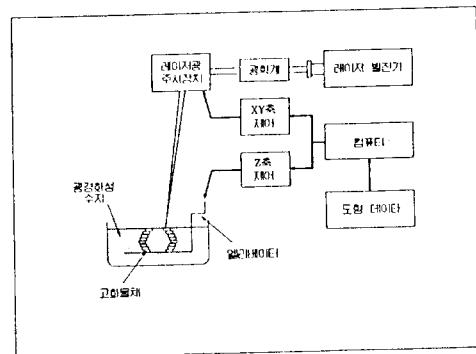


그림 1. Stereolithography 시스템의 구성

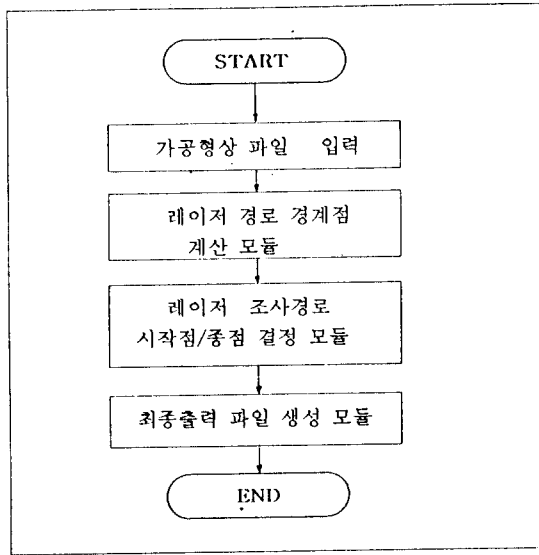


그림 2. 시스템 구성도

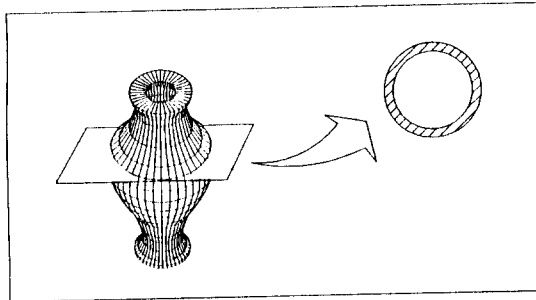


그림 3. 중공형상의 가공형상 모델

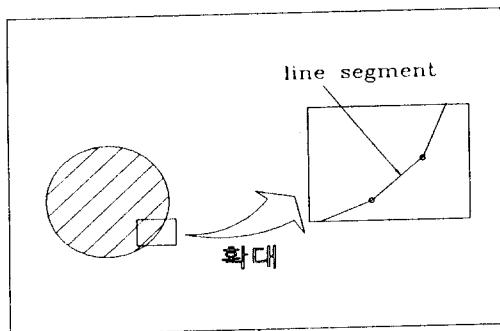


그림 5. 단면경계 형상 확대도

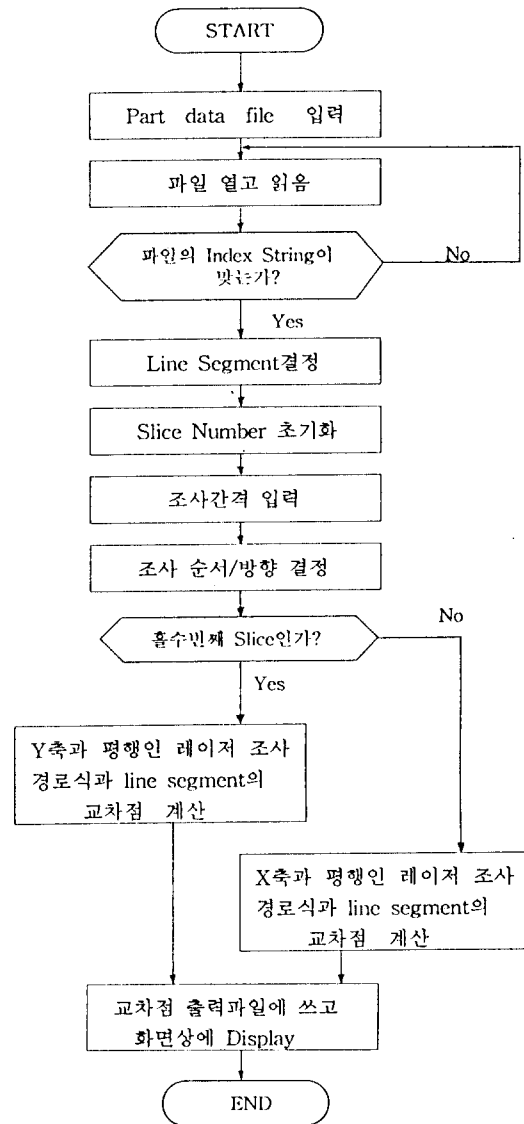


그림 4. 레이저 조사경로 경계점 결정 흐름도

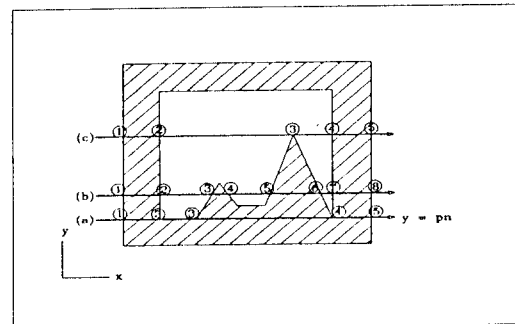
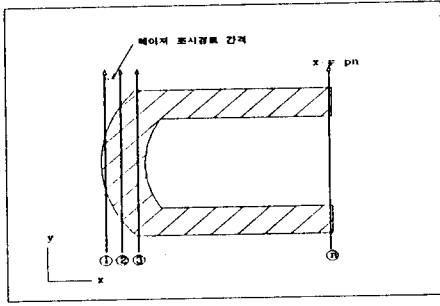
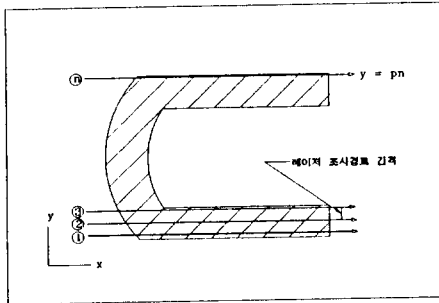


그림 8. 레이저 조사 시작점/중점



(a) 홀수번째 단면



(b) 짝수번째 단면

그림 6. 형상의 단면에서 레이저 조사 순서와 방향

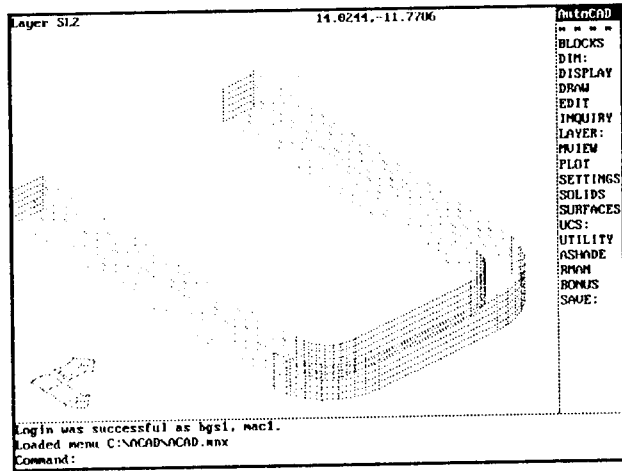


그림 7. 임의 단면의 레이저 조사경로 경계지

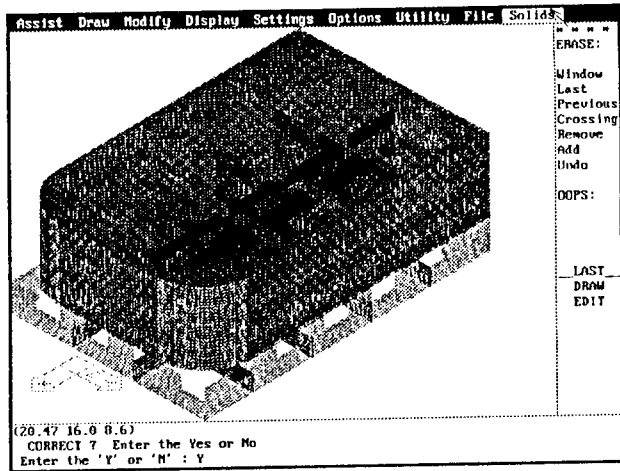


그림 9. 생성된 가공형상의 레이저 조사경로