

3D scanner와 VisualISP을 이용한 3차원 모델링에 관한 연구

김세민*, 이승수, 김민주(동아대 대학원 기계공학과), 장성규(동의공업대 자동차과),
전연찬(동아대 기계-산업시스템공학부)

A Study on 3D modelling using a 3D scanner and VisualLISP

S. M. Kim*, S. S. Lee, M. J. Kim(Mech. Eng. Dept., graduate school, Dong_a), S. G. Jang(Automobile Dept., Dit), E. C. Jeon(Mech.-Indu. School, Dong_a)

ABSTRACT

This paper is to model a 3D-shape product applying mathematically the data acquired from a 3D scanner and using an Automatic Design Program. The research studied in th reverse engineering up to now has been developed continuously and surprisingly. However, forming 3D-shape solid models in CAE and CAM, based on the research, the study leaves much to be desired. Especially, analyses and studies reverse-designing automatically using measured data after manufacturing. Consequently, we are going to acquire geometric data using an 3D scanner in this study with which we will open a new field of reverse engineering by a program which can design a 3D-shape solid model in a CAD-based program automatically.

Key Words: CAE(Computer aided engineering), CAM(Computer aided manufacturing) ADP
(Automatic design program : 자동설계 프로그램)

1. 서론

실물의 형상을 측정하고, 측정 데이터를 기반으로 형상 모델링 과정을 거쳐, 컴퓨터상에서 이용 가능한 디지털 모델을 생성하는 것을 형상역공학(Shape reverse engineering)이라 하며, 형상역공학이 최근 제조업 분야에서 각광받는 이유는 소비자들의 요구수준이 다양화함으로써 다품종 소량생산이 주를 이루고, 유행주기의 단축으로 인해 제품의 개발에서 제조까지의 전 공정에 걸리는 시간을 단축할 필요성이 대두되기 때문이다.

형상역공학에서는 기하학적 데이터의 획득이 최대 관건이다. 이를 얻기 위해서 두가지 방식이 사용되어지는데 접촉식은 프로브를 이용하여 3차원 물체의 형상 데이터를 얻는 것이고, 비접촉식으로는 CT(Computed Tomography) 및 MRI(Magnetic resonance image), 그리고 Laser scanner 및 광학식 스캐너를 이용한 방법들이 있다 이러한 형상역공학에 관한 연구들을 살펴보면 Anil K. Jain¹⁾이 컴퓨터 상에서의 데이터 처리에 관하여 연구하였고, Bernardini²⁾가 디지털 스캐너로부터 얻어진 데이터를 토대로 CAD모델을 재생성하는 연구를 하였다. 또한 Robert N. Yancy³⁾가 CT를 이용해서 얻어진 물체의 데이터로부터 원래의 형상을 재구성하는 역설계에 관하여 연구하였고, James W. Kristoff⁴⁾는 MRI

데이터로부터 CAD 데이터로 변환시키는 연구를 하였다. 또 Y. Miyake⁵⁾등은 단면 데이터로부터 3차원의 면을 생성하는 방법을 연구하였다. 그리고 국내외의 여러 대학 및 연구소에서 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

지금까지 이루어진 형상역공학에 관한 연구들은 기하학적 데이터의 획득 측면에서는 지속적이고, 획기적인 발전을 이룩하였지만 이를 토대로 CAE나 CAM에 필요한 3차원 솔리드 모델을 형성하는 연구는 미흡한 실정이다. 특히 해석이나 가공후 측정된 데이터를 이용한 역설계를 자동으로 수행하는 연구는 그다지 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 3D 스캐너를 이용하여 기하학적 데이터를 획득하고, 이를 활용 CAD 기반 프로그램에서 자동으로 3차원 솔리드 모델을 형성하는 프로그램을 작성함으로써 형상역공학의 새로운 분야를 개척하고자 하며, 이 프로그램을 이용하여 제품의 설계에 걸리는 시간을 최소화하고자 한다.

2. RE 작업 및 실험장치

비 접촉식 방식의 측정 장비에서는 접촉식 프로브가 사용되지 않기 때문에 접촉 압력에 의한 모델의 외부 표면 변형이나 위치 변화 등의 문제점들을 해결할 수 있다. 또한 정확한 곡면 데이터 값을 빠

른 시간내에 얻을 수 있으며, 프로브의 반경 보정 작업도 필요 없다. 따라서 본 연구에서는 비 접촉식 측정 장비인 3D system사의 3D Scanstation을 사용하여 기하학적 데이터를 추출한다. 이 장비는 물체를 회전 원판 위에 설치한 상태에서 디지털 카메라를 이용하여 물체의 위치 좌표, 즉 기하학적 데이터를 얻는 장치이다. Fig. 1에 본 실험에 사용된 3D 스캐너로 캘리브레이션하는 장면을 나타내었다. 그리고 Table. 1에 스캐너의 제원을 나타내었다.



Fig. 1 Photograph of scanning using 3D scanstation

Table. 1 Specification of 3D scanbook

Scan principle		Shape-from-silhouette approach
Dimensions closed (apparatus)	Width	68 cm
	Length	84 cm
	Height	130 cm
Resolution	3D	typ 1024×1024×1024 pixel
	2D	typ 2048×2048 pixel
Object dimensions	Height	Up to 80 cm
	Radius	Up to 50 cm
Object weight(max.)		50 kg
Accuracy		Up to 0.5% of total object size

3. DXF 파일 데이터 분석

999

DXF model from: Dimension 3D-Systems 3D Scanware 1.4

```

0
SECTION
(중략)
0
3DFACE
8
modell
62
1
10
-14.948229
20
-14.568389
30
0.640136
(중략)

```

Fig. 2 3D positional coordination of DXF code

본 연구에 사용된 DXF파일을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 DXF파일은 스캔 대상을 구성하는 많은 점들의 좌표를 포함하고 있다. Fig. 2에서 보여지는 3DFACE는 4개의 정점을 이용하여 하나의 면을 생성하는 명령어로서 4개의 정점을 가지고 하나의 삼각형을 형성한다. 이 때 4번째

정점은 세 번째 정점과 겹치게 된다.

Fig. 3에 임의의 한 면이 가지는 좌표값을 나타내었다. 여기서도 세 번째 정점의 좌표값이 네 번째 정점의 좌표값과 일치하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 측정대상으로 사용된 원통을 형상 역설계하기 위해서 DXF 코드의 각 정점 좌표 X, Y 성분만을 추출한다. 그리고 LSC법을 이용하여 원을 구성하는 데이터를 얻고, 추출된 데이터의 Z성분을 이용하여 길이를 구한다. 그리고 획득한 원과 길이 데이터를 이용하여 새로운 물체를 AutoCAD상에서 생성하고자 한다.

```

0 → Entity Type
3DFACE
8 → Layer Name
modell
62
1
<각 정점의 좌표값>
10(x1) 11(x2) 12(x3) 13(x4)
-14.948229 -15.179678 -15.522167 -15.522167
20(y1) 21(y2) 22(y3) 23(y4)
-14.568389 -15.867265 -14.863692 -14.863692
30(z1) 31(z2) 32(z3) 33(z4)
0.640136 1.147471 1.018905 1.018905

```

Fig. 3 Coordination value of random face

4. LSC를 이용한 원 데이터 계산 및 높이 산출

본 연구에서는 3D 솔리드 모델을 생성하는데 필요한 데이터를 얻기 위하여 LSC법을 사용한다. 기존의 LSC법은 측정기에 주로 사용된 방법으로 반경 값들이 측정기의 측정에 의해 주어지지만 3D 스캐너에서 나오는 데이터는 점들의 위치좌표만을 가지고 있을 뿐으로 반경이 나타나 있지 않다. 따라서 아래와 같은 수식의 전개에 의해 a , b 및 r 을 구한다. 우선 기준 원의 방정식을 식 1)과 같이 나타낸다.

$$r^2 = (x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 \quad (1)$$

여기서 x_i , y_i 는 스캐너에 의해 얻어진 기하학적 데이터들의 X축 및 Y축 좌표이다.

a , b 및 r 를 구하기 위하여 식 1)을 푸는 과정을 아래에 나타내었다.

$$I = \sum_{i=0}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2]^2 = \sum (x_i^2 + y_i^2 - 2a$$

$$x_i - 2b y_i + a^2 + b^2 - r^2)^2$$

$$A = -2a, B = -2b, C = a^2 + b^2 - r^2 \text{ 로 두면}$$

$$I = \sum_{i=0}^n (x_i^2 + y_i^2 + A x_i + B y_i + C)^2$$

여기서 이 제곱의 합이 최소화되기 위해서 I를 A, B, 그리고 C에 대해 각각 편미분한다.

$$\frac{\partial I}{\partial A} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A x_i + B y_i + C][x_i]$$

$$\frac{\partial I}{\partial B} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A x_i + B y_i + C][y_i]$$

$$\frac{\partial I}{\partial C} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A x_i + B y_i + C][1]$$

.....(중략).....

$$\therefore \bar{y} = \frac{\sum(x_i^2 + y_i^2)}{n} - a \bar{X} - \beta \bar{Y}$$

$$(\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i/n, \bar{Y} = \sum_{i=1}^n y_i/n)$$

.....(중략).....

A=2 a, B=2 b, C= a² + b² - r² 에 의해서

.....(중략).....

최종적으로

$$\therefore r^2 = a^2 + b^2 - C$$

$$= a^2 + b^2 + \frac{\sum(x_i^2 + y_i^2)}{n} + a \bar{X} + \beta \bar{Y}$$

$$r = \sqrt{a^2 + b^2 + \frac{\sum(x_i^2 + y_i^2)}{n} + a \bar{X} + \beta \bar{Y}}$$

이다.

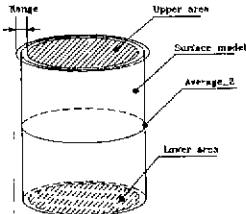


Fig. 4 Calculation of z-axis length

다음으로 Z방향의 길이를 얻기 위해 총 2000개의 점 데이터의 Z값 평균을 먼저 구하였다.

그리고 위에서 구한 r값을 이용하는데, 반경 r이 내에 들어오는 점들의 Z값을 Z값의 평균과 비교하여 크면 상한영역, 적으면 하한영역으로 분류한다. 그리고 상한영역에 있는 점들의 Z값을 평균하고, 여기에 하한영역에 있는 점들의 Z 평균값을 빼는 방법으로 길이를 구하였다. Fig 4에 길이를 구하는 방법을 나타내었다

5. 자동설계의 개념

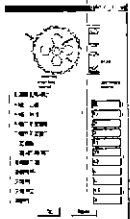


Fig. 5 Dialog box of gasket

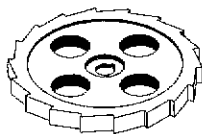


Fig. 6 Gasket model using visual lisp

ADS(Automatic design system)는 설계에 필요한 몇 가지 요소만을 입력받아 2차원 및 3차원 모델을 생성하는 프로그램을 통칭하는 것인데, 일반적으로 CAD나 MDT 기반의 VisualLISP이 주로 사용된다. 그리고 ADS는 3D 모델링 전문가가 아니더라도 기계공학적인 지식을 가진 유저(User)라면 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그리고

ADS 라이브러리(Library)를 구축함으로써 모델의 디스플레이 및 G-code 생성에 의한 가공, 비용계산과 같은 포괄적인 작업이 가능하다.

ADS를 구현하는 프로그램을 작성하기 위하여 MDT를 기반으로 하는 프로그램 언어인 VisualLISP을 사용하였다. Fig. 5는 VisualLISP을 사용하여 라체트휠을 자동설계할 수 있도록 프로그래밍한 것이다. Fig.5에서 보는 바와 같이 다이얼로그 박스 안에 있는 몇 가지 설계요소를 입력함으로써 간단하게 3D 모델을 얻을 수 있으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 본 연구에서는 ADS를 기본으로 하되 Fig. 5와 같이 유저(User)가 설계에 필요한 요소를 입력하는 게 아니라 스케닝에 의해 입력되는 기하학적 데이터를 그대로 사용하여 자동 설계를 수행한다. Fig. 9에 나타낸 DCL창이 본 연구에 사용된 ADS 프로그램을 나타내고 있다.

6. 3D 스캐너를 이용한 형상역공학 알고리즘 및 실험방법

Fig. 7은 3D 스캐너를 이용한 형상역공학 알고리즘을 나타내고 있다. 3D 스캐너를 이용하여 대상 물체의 기하학적 데이터를 입력 받고, 이를 DXF 코드로 변환하여 기하학적 데이터의 이용을 편리하게 한다. 이를 토대로 LSC법에 의한 원 데이터 산출과 Z축 길이 연산을 수행한 후 VisualLisp을 사용한 자동설계 프로그램에서 3차원 솔리드 모델을 생성한다. 본 연구는 Fig. 7의 알고리즘에 따라 전개된다.

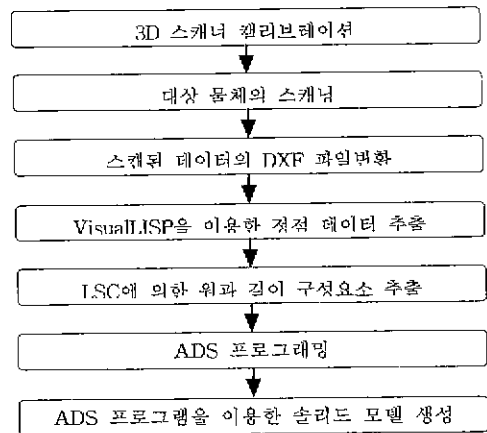


Fig. 7 Algorithm of shape reverse engineering using 3D scanner

먼저 3D 스캐너의 캘리브레이션 작업을 Fig 1에 나타난 바와 같이 수행하고, 대상을 스캐닝한다. 이때 스캐닝 데이터의 정확성을 위해 1024모드로 디지털 카메라를 셋팅하고, 5회 반복 스캐닝한 각각의 점들이 가지는 위치 데이터를 평균하여 실험에 사용되는 기하학적 데이터를 구한다. 그리고 자동설계 프로그램에 이식시키기 위한 DXF 코드 변환

작업을 수행한 후 LSC에 의한 원 및 길이 데이터를 추출한다.

추출된 데이터를 자동설계 프로그램에 이식하여 3차원 솔리드 모델을 완성한다. 그리고 자동설계 프로그램을 사용하여 모델링 하였을 때와 일반 유저가 원 및 길이 데이터를 가지고 3차원 솔리드 모델을 생성할 때의 시간을 비교하여 자동설계 프로그램의 유용성을 검증하고자 한다.

7. 3D 스캐닝 데이터를 이용한 자동설계 프로그램 및 결과

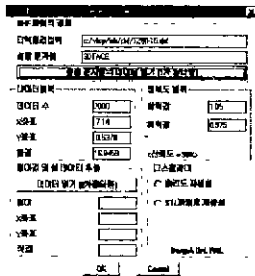


Fig. 8 Input window using DCL(1st calculate)

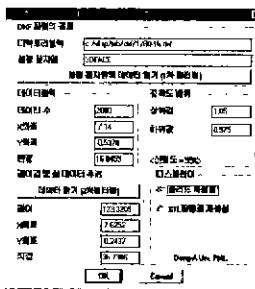


Fig. 9 Input window using DCL(2st calculate)

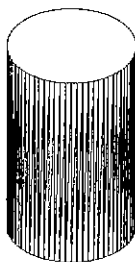


Fig. 10 3D solid model according to VisualLISP

VisualLISP 프로그램을 통해 만들어진 윈도우 입력창을 Fig. 8과 Fig 9에 나타내었다. Fig. 8은 해상도 1024 mode로 16방향으로 스캐닝하여 얻어진 기하학적 데이터를 DXF 형태로 입력받아 LSC를 이용한 원 데이터를 얻는 과정(1차 필터링)을 수행하고, 그 결과를 데이터 출력부에 나타내고 있다.

Fig. 9는 Z축 방향의 길이를 얻기 위한 범위설정을 정확도 범위부에서 입력 받아 Z축의 값을 구하고, 이를 길이값 및 데이터 추출부에 나타내고 있다. 이와 같은 자동설계 프로그램에 의해 생성된

3D 솔리드 모델을 Fig. 10에 나타내었다.

8. ADS를 이용한 3D 모델링과 일반 유저의 모델링 시간 비교

일반 유저가 3D 솔리드 모델을 생성하기 위한 교육을 받는 데 상당한 시간이 소요된다. 이의 객관적 기준을 제시하기 위하여 몇 군데의 교육기관의 교육과정을 조사하고, 본 연구에 사용된 자동설계 프로그램을 이용한 모델링 시간과의 비교를 수행하였으며, 그 결과를 Table. 2에 나타내었다. Table. 2에 나타난 바와 같이 3D 모델링을 위한 교육에 많은 시간이 소요되며, 단지 모델링뿐만 아니라 설계에 대한 개념을 익히는 데에 더 많은 시간이 소요된다. 이를 자동설계 프로그램을 이용함으로써 최소한으로 단축시킬 수 있었다.

Table 2. Comparison of modeling time according to each curriculum

분류 요목	삼척대 교		동아대 교		인주 대		동의공 대		직업훈련 원		전신 학원		ADS program
	국 립	1 학기	사 립	1 학기	국 립	1 학기	사 립	2 학기	국 립	2 년	사 립	4 개월	
CAD 관련 교육과정	선상설계		전상설계		기계설계		전상설계		전상응용 설계		CAD		-
교육 시수 (학기당, 과정당)	60		30		60		45		120		80		5분

9. 결론

3D 스캐너를 이용한 데이터 획득 및 이를 이용한 자동설계 프로그래밍, 기하학적 데이터를 사용하기 위한 수학적 적용 등을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) VisualLISP을 이용한 자동설계 프로그램을 개발하였고, 형상역공학에 수학적 알고리즘을 적용하였다.
- 2) 형상역공학의 한 분야로 3D 스캐너와 ADS를 제안하였고, ADS 프로그램이 3D 모델링에 걸리는 시간을 최소화할 수 있음을 증명하였다.

참고문헌

- 1) Anil K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, 1989
- 2) Bernardini F., Bajaj C., "Automatic Reconstruction of 3D CAD Models from Digital Scans", International Journal of Computational Geometry and Applications, Vol. 9, No. 4, pp. 327-370, 1999
- 3) Robert N. Yancey, Dentus S. Eliassen, S. Trent Neel, James H. Stanley, "Reverse Engineering Using Computed Tomography", Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, pp. 141-149, 1994
- 4) Kristoff J., "Mapping Human Anatomy from MRI Data for Improved Product Development", MD&DI, 1997
- 5) Y. Miyake, T. Kondo, S. Kaneko, S. Igarashi, H. Narahara, "Reconstruction of Three Dimensional Surface from Slice Positional Data", Chapman&Hall, 1997