

레이저를 이용한 버 측정 시스템 개발

고성림*, 전근배**, 이정구***

Development of Burr Measurement System Using Laser

Sung-Lim Ko*, Gun-Bae Jun**, and Jing-Koo Lee***

ABSTRACT

A system for burr measurement is developed to measure the geometry of the burr formed in metal cutting or shearing operations. Laser system is used for sensing the variation of the position along scanning trajectory. The laser system is selected according to the required measuring accuracy and burr size. A specific program for calculating the burr geometry from measured laser data is developed. The raw data is obtained by scanning cross the burr. The height and width of burr are calculated. Due to the specific characteristic of laser, peak or valley are formed in measuring sharp edges or small sharp cracks. Compensation for the peak or valley is carried out to make it possible to calculate the burr geometry using the developed program. By repeating the scanning process along the burr, burr geometry is measured in 3 dimension.

Key Words : Burr Geometry(버형상), Burr Measurement Program(버 측정용 프로그램), Laser System(레이저 시스템), Compensation method(보정 방법)

1. 서론

일반적으로 버란 전단 또는 절삭 가공시 발생하는 원하지 않는 부분으로 이것을 제거하는 방법과 더불어 측정하는 방법이 고려되어야 한다.⁽¹⁾ 측정 방법으로는 접촉식과 비접촉식이 있고 실제 연성재질인 알루미늄과 같은 재질을 측정시 접촉식인 하이트 게이지(height gage)나 형상 측정기(form coder)는 스프링에 의한 힘으로 인한 압력으로 버의 변형을 동반함으로 비접촉식이 고려되어야 한다. 그러나, 비접촉식 방법인 레이저를 이용하여 버를 측정시 레이저의 독특한 특성으로 인하여 예리한 모서리 같은 곳에서는 실제 버의 형상과 다른 결과를

가져오므로 이에 알맞은 보정 방법이 고려되어야 한다.^(2,3) 드릴링에서 나오는 버는 그 크기와 형상이 일정하여 보정하는 데 어려움이 없으나 밀링과 같은 다양한 버를 가지는 것은 보정시 꽤 보정이 어려우므로 다양한 버 형상을 토대로 버 보정 방법을 고려하는 것이 필요하다. 밀링과 드릴링에서 측정된 다양한 버 데이터를 가지고서 버의 보정 방법을 고려하였으며 그 방법을 실제 프로그램 상에서 검증하였다.

레이저를 이용시 사용되는 방법은 레이저 초점(laser confocal) 원리와 레이저 삼각법이 있는데 그 측정상 정밀도는 빔 스폿 크기(beam spot size)와 측정 범위에 의해 결정됨을 알 수 있다.⁽²⁾ 그러나 레

* 건국대학교 기계설계학과

** 건국대학교 기계설계학과 대학원

*** 경기공업대학 정밀계측과

이제 초점의 원리는 가격이 비싸고 다루기 복잡하므로 저가인 레이저 삼각법의 이용을 많이 한다. 광원(light source)으로는 좁은 범위에서도 파장을 용이하게 변화시킬 수 있는 반도체 레이저를 이용하여 주사하는 방식을 취함으로써 더 정확한 값을 얻을 수 있게 되었다. 그러나, 광의 직진성(straightness) 및 간섭 성질, 초점 불일치 등 많은 오차를 동반하는 원인으로 인하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 또 스캔(scan) 방식을 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^(4,5) 이 연구에서 광원(light source)은 반도체 레이저를 사용했고 수광기(receiver)는 CCD인 레이저(point 방식)를 이용하여 더 정확한 버 형상과 크기를 얻을 수 있었고 실제 자동 초점과 반사 성질에 대한 영향이 없는 이 기기 자체의 우수한 성질로 인하여 측정이 유리하였다.

이에 본 연구에서는 레이저로 측정된 버를 정확하게 측정하기 위한 방법과 그리고 적절한 보정 방법과 버를 3차원 형상으로 표현하는 방법들을 연구하였다.

2. 버 측정 시스템의 개발

2.1 측정기기 및 측정방법

본 실험에서는 레이저 삼각법을 이용하여 버를 측정하였으며 또 정확하게 버를 검출하기 위하여 새로 도입된 CCD방식을 도입하였다.

Fig. 1은 실험에 사용된 레이저 삼각법의 원리를 나타낸 것이다. 종래까지는 수광소자(receiver element)에서 PSD(Position sensitive detector ; 광위치 검출소자)를 사용했지만, PSD는 소자 위에 연결한 스폿(spot) 전체 광량의 중심을 위치로서 인식한다. 그러나 이 방법에는 대상물의 표면상태의 영향에 의해서 Fig. 2에 나타난 바와 같이 빔 스폿(beam spot) 내의 광량의 분산이 발생하고 측정값의 오차가 생기는 일이 있다. 본 실험에 사용된 레이저는 수광소자에 CCD를 채용했기 때문에 소자 위의 스폿 내의 수광에 분산 현상이 있어도 안정하게 광량의 피크(peak) 값을 검출함으로써 높은 정밀도의 변위측정이 가능하다.

레이저 삼각법의 측정 원리는 삼각측정을 응용한 방식이고 발광소자(반도체 레이저)와 수광소자(CCD)에 의해서 구성된다. Fig. 1에서 발광소자에서 조사(照射)된 레이저는 투광축의 렌즈를 통과하

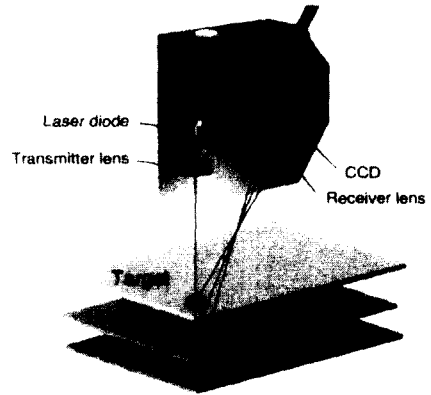


Fig. 1 The principle of laser triangulation method⁽⁶⁾

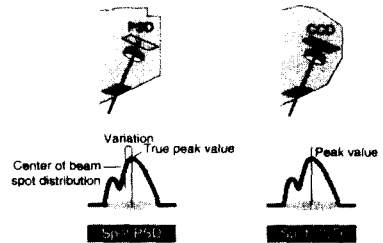


Fig. 2 Light quantity distribution of the spot on receiver element⁽⁶⁾

고 대상물의 표면에서 확산 반사된다. 그 반사광의 일부를 수광축의 대물 렌즈에서 집광하고 CCD상에 스폿을 결합한다. 측정물의 위치변화에 따라 확산 반사광의 집광하는 각도가 변화함으로써 그것에 동반해서 CCD 상의 스폿이 이동한다. 그 위치를 검출한 것에 의해서 대상물의 변위량이 측정된다.⁽⁶⁾ 레이저 삼각법은 저가이고 또 사용자가 다루기 쉽고 높은 측정 능력을 갖고 있으므로 버의 측정시에 알맞은 장치이다.

레이저를 이용하여 버의 크기를 측정하는 단계를 Fig. 3에 나타내었다. 레이저 변위센서는 일본 Keyence 사의 LK031을 사용하였고, 버의 크기 및 요구 정밀도에 따라서 레이저 시스템의 사양이 결정되어야 한다. 시스템에 따른 측정범위와 정밀도의 변화가 Table 1에 나타나 있다. 측정하고자 하는

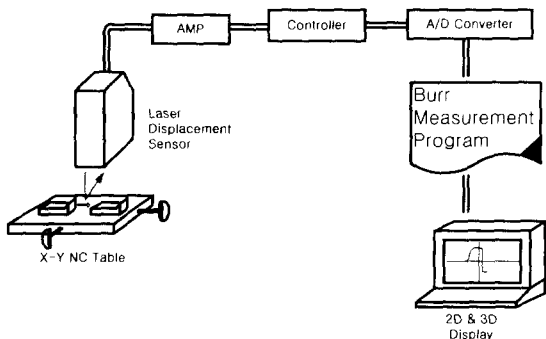


Fig. 3 Diagram of burr measurement system

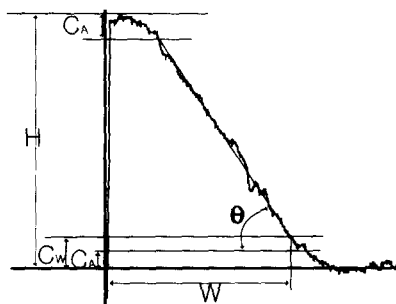


Fig. 4 Schematic illustration for burr measurement algorithm

Table 1 Relation between beam spot size and measurement resolution in laser system⁽⁶⁾

laser system	#1	#2	#3
beam spot size	200 μm	30 μm	7 μm
height resolution	10 μm	0.5 μm	0.2 μm
Measurement Range	$\pm 15\text{mm}$	$\pm 8\text{mm}$	$\pm 1\text{mm}$

버의 위치에서 스캐닝을 위하여 X-Y NC table의 이송거리와 이송속도를 지정하여 준다. A/D 변환기로는 NI사의 DAQ 4.8을 사용하였으며 대부분의 경우에 2000 samples/초를 사용하였다. 레이저 변위센서(laser displacement sensor)로부터 얻은 기록이 심한 원래 데이터를 평균화(averaging)를 통하여 부드러운 신호형태로 변환한다. 이 변환된 데이터를 이용하여 개발된 버 측정프로그램에서는 버의 높이, 두께 등의 형상을 계산한다.

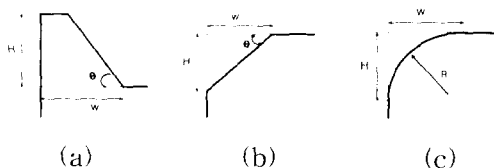


Fig. 5 Geometrical representation of burr

- (a) Positive burr
- (b) Chamfered edge
- (c) Round edge

2.2 버 측정 시스템의 구조

버 측정 프로그램에서는 먼저 X-Y NC table에서의 이송속도(feed rate)와 A/D 변환기에서 샘플링비(sampling rate :Number/sec)를 신호처리를 위한 입력값으로 주어진다. X-Y NC table은 보유하고 있는 머시닝센터의 table을 이용하였다. table의 반복정밀도 및 위치 정밀도가 5 μm 임을 고려할 때, 정밀도 및 측정속도에는 전혀 문제가 없다. 그러나 별도의 측정장비로서는 X-Y NC table의 구축이 필요하다. 그리고 Fig. 4에서와 같이 불규칙한 원래의 데이터(raw data)로부터 버 형상을 계산하기 위하여 격자간격(grid control), 사용자가 버의 최고높이의 몇%에서 버의 넓이를 구할 것인지를 정하는 width clearance(C_w)와 사용자가 버의 최고높이에 몇%에서 버의 각을 구할 것인지를 정하는 angle clearance(C_A) 그리고 신호가 들어오지 않는 범위를 정하는 hold off's value 등을 입력 값으로 준다. 위에 주어진 각 값을 이용하여 A/D 변환기를 이용하여 받은 신호를 변환한다. 가장 일반적인 버 형태로서 Fig. 5와 같이 양(+)과 음(-)의 버 모델을 설정하여 버 형태를 버의 높이(H), 두께(W) 그리고 경사각(θ)으로서 규정한다. 일반적인 모서리부의 형태는 음의 버와 유사하다고 가정하여 Fig. 5(b)와 (c)로 나타낼 수 있다. 버 측정프로그램에서는 측정값으로부터 버의 높이, 버의 크기와 버의 각도를 계산한다. Fig. 5(c)에서는 모서리 반경(R)을 계산한다.

A/D 변환기를 통해 변환된 신호는 Fig. 6에서 보듯이 2D, 3D, 데이터베이스 그리고 화일 편집 모드(file edit mode)에서 사용된다. 2D drawing 작동시 주어진 위치와 경로에서 입력된 이송속도와 샘플링비에 의해서 받아들인 자료로부터 버의 높이, 두께

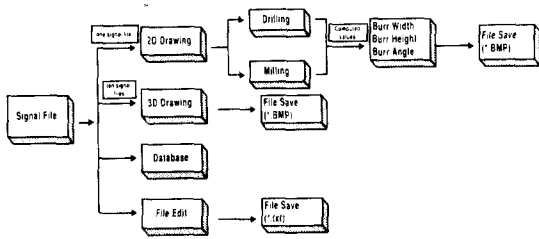


Fig. 6 The structure of burr measurement program

그리고 경사각을 계산한다. 3D drawing 작동시에는 2D 데이터 입력 자료와 모서리방향으로 스캐닝 간격과 횡수를 입력함으로써 데이터 파일을 생성한다. 본 프로그램은 원하는 스캐닝 횡수에 의해서 파일 수가 결정된다. 3D로 나타낸 것은 wire, wireframe, mesh를 사용해서 볼 수 있도록 했다. 버의 높이는 색깔 띠로서 높이를 식별할 수 있다. 데이터베이스를 이용하여 버의 크기에 대한 데이터를 수정, 보완 및 추가가 가능하고 버의 높이를 비교할 수 있는 순차 정렬이 가능하다.

버 측정프로그램은 우선 평균화(averaging)를 통하여 원래 데이터를 부드럽게 만든다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 부드러운 신호로부터 '0'에 가까운 일정 값을 통과하는 지점을 기준점으로 하여 Y 방향의 최고값으로부터 버의 높이(H)를 그리고 Y값의 '1'이 되는 X 지점으로부터 width clearance (C_w)를 이용하여 버의 두께(W)를 계산한다. 기준점으로부터 최고값의 근방에 angle clearance (C_A)에 의해 결정된 값에 최초로 도달하는 지점을 이용하여 버 경사각을 계산하는 알고리즘으로 이루어져 있다.

2.3 레이저를 이용한 버 측정시 발생하는 현상

레이저를 이용한 버 측정시 발생하는 현상 중 가장 빈도가 높고 버의 형상과 크기를 측정함에 가장 큰 영향을 주는 것은 valley이다. Valley는 레이저를 이용한 버 측정시 버와 재료사이에 수직으로 좁고 깊은 홈이 발생하는 것이다. 이것은 실제 눈으로는 확인이 불가능하고 레이저 측정시 발생하는 레이저의 독특한 특성이라 말할 수 있다. 따라서 이것을 보정함으로써 원하는 버의 형상과 크기를 얻을 수 있다. Fig. 7과 8은 실제 3.5mm의 게이지 블럭과 4mm의 게이지 블럭을 밀착시켜 고정시킨

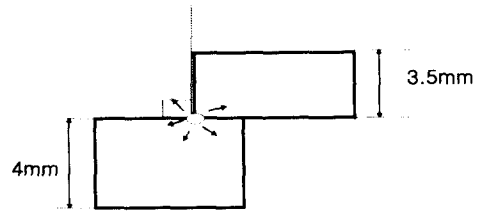


Fig. 7 Dispersion of laser beam in measuring geight with two block gages

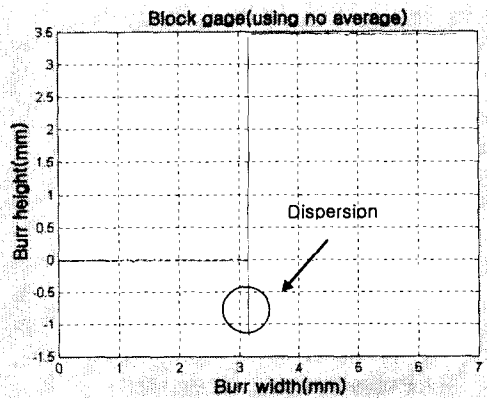


Fig. 8 Observation of valley in measuring height with two block gages

후 레이저를 이용하여 단차를 측정할 것이다. Fig. 7에서도 알 수 있듯이 레이저의 빔(beam)이 게이지 블럭의 수직을 이루는 곳을 지날 때 Fig. 8에서 보듯이 깊은 골짜기가 형성되는데 이것을 valley라 부르기로 한다. Valley는 대개 두 가지 경우에 발생하는데 Fig. 7에서처럼 수직을 이루는 곳이나 전단 또는 절삭시, 특히 취성 재료에서 재료에 틈이 생겨(눈에는 보이지 않는 작은 공간) 레이저 빔의 산란에 의해서 valley가 발생할 것으로 예상된다. 이것은 육안으로 식별이 안되므로 프로그램상에서 보정을 통한 방법을 선택한다. 보정을 통하면 실제 버의 형상과 크기를 얻을 수 있다.

2.4 보정 방법 및 결과

보정 방법은 Fig. 9에서처럼 두 점, A와 B의 좌표를 찾은 후 그것을 1차 방정식에 대입해서 보정하는 방법을 선택한다. 그러면 Fig. 9의 오른쪽에 있는 것처럼 버가 보정이 되고 정확한 버의 형상과

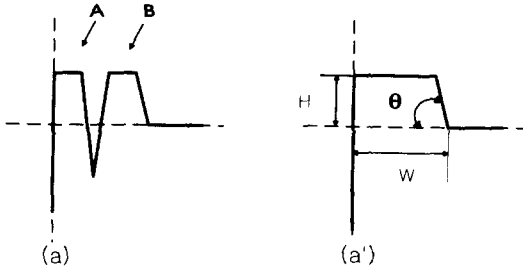


Fig. 9 Compensation method of positive burr in laser

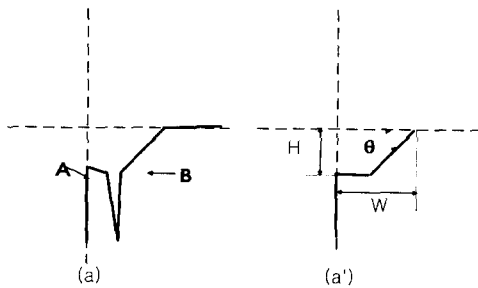
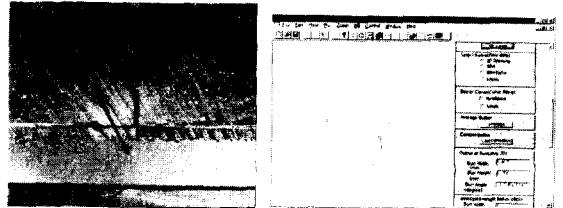


Fig. 10 Compensation method of negative burr in laser

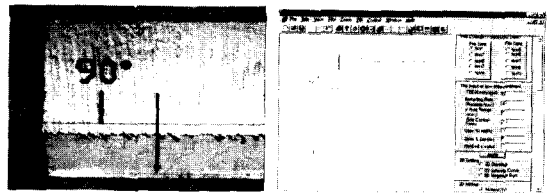
크기를 얻을 수 있다. Fig. 9와 같은 방법을 "Positive compensation"이라고 칭한다. 그리고 버는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. Fig. 9에서처럼 양의 버(positive burr)가 발생하기도 하고 Fig. 10에서처럼 음의 버(negative burr)가 발생하기도 한다. 그러나 드릴링과 같은 버에서 음의 버는 valley를 동반하지 않으므로 보정이 필요없으나 밀링 작업에서 발생하는 버는 valley를 동반하므로 그 보정을 통하여 올바른 측정값을 얻을 수 있다. 보정 방법은 양의 버와 같이 1차 방정식을 이용하여 보정하거나 valley가 음의 구역에 존재하도록 음의 버의 시작점을 원점으로 이동 후에 보정한 다음 다시 원래상태로 보내도록 한다. 이것을 "Negative compensation"이라고 칭한다. 특히 밀링에서는 양의 버와 음의 버를 동시에 나타내는 경우가 있으나 이것을 이용하여 쉽게 보정할 수 있다. 이 두 가지 보정방법을 통하여 버를 측정하면 원하는 버의 형상과 크기를 Fig. 11과 12에서는 Al6061을 공구의 이탈각이 각각 60°와 90°인 경우의 페이스밀링을 한 후 발생한 버의 형태(a)와 버 측정결과(b) 그리고 각 경우에 발생한 valley에 대한 보정을 실시한 결과(c)를

나타내고 있다. 실제 측정된 결과를 Table 2에서 알 수 있듯이 버의 넓이와 각도가 실제 값에 가깝게 나옴을 알 수 있다. 양의 버인 경우에는 버의 형태



(a) (b)

Fig. 11 Compensation of positive burr
(a) Burr formed in Al6061 face milling
(→ : tool exit direction)
(b) Raw data before compensation
(c) Data after compensation



(a) (b)

Fig. 12 Compensation of positive and negative burr
(a) Burr formed in Al6061 face milling
(→ : tool exit direction)
(b) Raw data before compensation
(c) Data after compensation

가 표준형에 가까워서 정확한 비교가 이루어지지만 음의 버인 경우에는 버의 높이만을 비교하였다. 밀링 버는 출구 각에 따라 다양한 버가 나오며 버의 형상도 양의 버와 음의 버를 동반하는 경우도 있다. 따라서 이것을 측정할 때 이 보정을 쓰면 원하는 측정 결과를 얻을 수 있다.

Table 2 Comparison between before and after compensation

Type	Geometry	Before	After	real
Positive Burr	Height	0.264	0.264	0.264
	Width	0.488	0.596	0.6
	Angle	24.755	20.944	20.1
Negative Burr	Height	-1.218	-0.29	-0.3
	Width	0.06	0.28	
	Angle	4.7	-74.93	

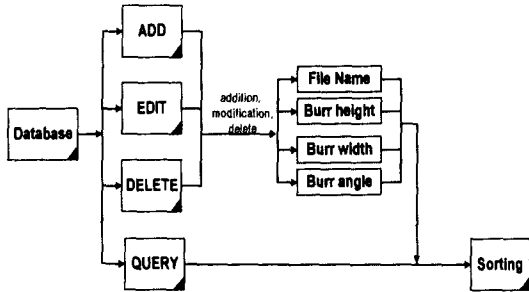


Fig. 13 The Structure of database

ID	File Name	Burr Width	Burr Height	Burr Angle
49	200K	1.312	0.94	88.59
50	pure sl	1.2	1.701	88.93
51	brass	0.190	0.1824	4.15
52	in42	0.815	0.24	11.21
53	st41	0.66	0.173	14.54
54	al6061	0.263	0.316	68.53
77	negab1-1	3.445833	1.05	81.0013
78	al6061-1	2.561687	0.58	88.8625
84	C-WasherW...	2.504267	-0.72	15.0697

Fig. 14 Some examples of sorting

2.5 버 측정 결과의 데이터베이스화

버의 측정과 더불어 측정된 데이터를 관리함으로서 나중에 적절한 가공조건의 선택과 버 제거 작

업을 위한 적정조건의 선정에 유리하다.

먼저 레이저에서 측정된 데이터는 버 측정 프로그램에서 자동으로 측정된 후 그것을 사용자가 저장할 원하면 자동적으로 데이터베이스에 저장되도록 하였다. Fig. 13과 같이 지우기, 더하기, 편집, 분류(sorting) 기능을 첨가하여 잘못 측정된 것은 지우고 분류를 통하여 버의 크기가 큰 순서와 넓이가 큰 순서 등을 자유롭게 파악해서 사용자가 실제 작업시 알맞은 조건을 찾을 수 있도록 하였다. 버의 높이의 크기에 따라 분류한 예가 Fig. 14에 나타나 있다.

2.6 버의 3차원 측정

Fig. 15는 Al6061의 드릴가공시 발생한 버의 단면형상이다. 레이저를 이용하여 얻은 5개의 데이터를 A/D 변환기를 이용하여 신호를 변환한 후 wire 형태로 Fig. 16에 나타내었다. 샘플링 비를 2000(number/sec), feed는 50(mm/min), 평균화를 위한 점의 수는 10개, 그리고 width clearance(C_w)를 10%, angle clearance(C_A)를 5%, hold off's values를 -1mm로 놓았다. 3차원 형상을 wireframe으로 나타내기 위하여 먼저 처음과 끝의 행렬을 맞도록 자동적으로



Fig. 15 Burr formed in drilling Al6061

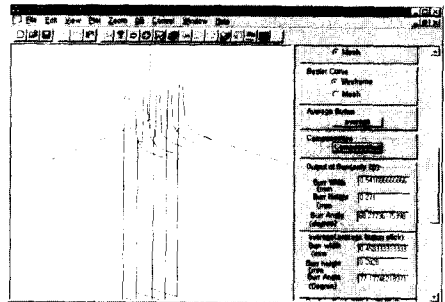


Fig. 16 Wire mode from raw data

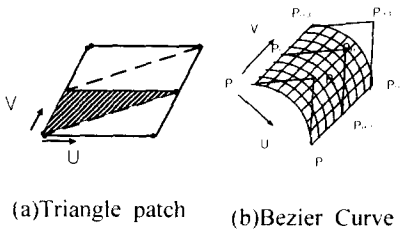


Fig. 17 The surface used for 3D representation

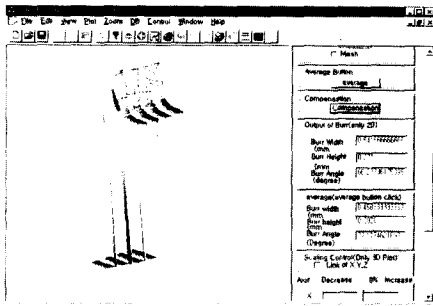


Fig. 18 Wireframe of raw data

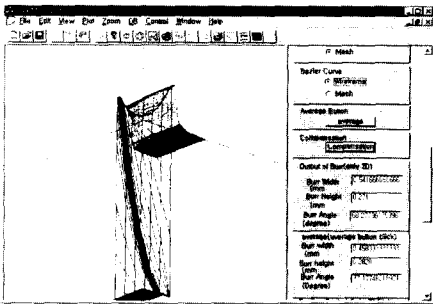


Fig. 19 Bezier wireframe

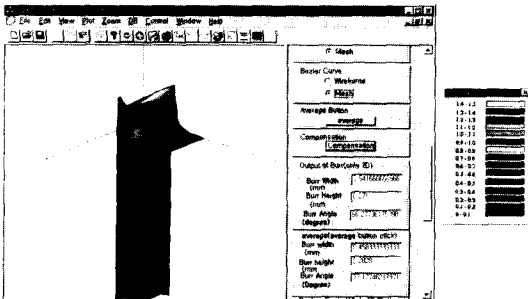


Fig. 20 Bezier surface

로 조절한 후 Fig. 17(a)에서 보는 것처럼 먼저 원래의 데이터(raw data)를 OpenGL⁽⁷⁾의 삼각 패치를 이용하여 면을 생성한 다음 화면상에 그린다. 나중에 사각 패치로 나타내기 위하여 Fig. 17(a)에서 보이는 은선(-)은 제거하여 Fig. 18에 나타내었다. 그러나 이것은 격자(grid) 간격이 일정치 않게 나오므로 부드러운 곡선으로 표현하기 위하여 Fig. 17(b)처럼 OpenGL⁽⁷⁾의 베지어 곡선 bezier curve)을 이용한다. 베지어의 원리는 Fig. 17(b)에서 보는 것처럼 먼저 제어점 3개, P_2 , P_{i-1} , P_{i+1} 를 정한다. 그리고 사각 패치의 점 6개를 정해서 그것을 이용하여 그린다. 그 효과는 격자 즉 grid가 일정한 간격으로 그러지므로 원래의 데이터를 이용시 격자의 불규칙적인 발생으로 인한 형상을 보정할 수 있다. 또 3D 베지어 곡선은 6개의 점을 이용하여 연속적으로 그리는 것이므로 점 사이의 간격이 프로그램 상에서 자동으로 조절되도록 하였다. 그 결과가 Fig. 19에 나타나 있으며 Fig. 20에서는 베지어로 만들어진 면(surface)에 색깔을 입힌 것이다. 버의 높이에 따라 다른 색깔의 면이 입혀지므로 그것을 통하여 버의 높이 파악이 가능하다. 그리고 실제 데이터가 들어 오지 않는 부분 즉 버가 아닌 부분은 검은색으로 표현함으로써 그 부분이 데이터가 들어오지 않고 버가 아님을 알 수 있게 했다. 또 전체 평균을 average라는 box에 나타냄으로 Fig. 16에서의 5개의 2차원 버의 평균 높이와 넓이, 각도를 알 수 있다. 실제 Fig. 18에서 볼 수 있듯이 평균 버의 넓이는 0.458mm, 그리고 버의 높이는 0.283mm, 버의 각도는 77.18°가 나옴을 확인할 수 있다 그러므로 전체적인 버 형상과 평균 버의 높이와 넓이 그리고, 각도를 파악하기가 쉽다.

3. 결론

1. 드릴링과 밀링 가공시 발생한 버 형상을 측정하기 위하여 레이저를 이용한 버 측정 시스템을 개발하였다.
2. 레이저를 이용한 버 측정시 발생하는 신호의 피크(peak)와 valley 현상을 보정하므로써 버 측정 프로그램을 이용하여 버의 형상과 크기를 계산할 수 있다.
3. 버 측정프로그램 안에서 버 측정데이터를 관리함으로써 데이터베이스를 구축하여 버 형성의 최

소화를 위한 가공조건과 효율적인 버 제거작업을 위한 데이터베이스를 구축할 수 있다.

4. 측정부위를 따라서 얻은 여러 개의 2차원 측정자료를 이용하여 버 형성을 3차원으로 표현할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비(과제 번호 981-1212-036-2)지원으로 수행되었음

참고 문헌

1. World Wide Burr Technology Committee. "Burr and Edge Technology : Introduction to Burr Standards," pp. 1~14.
2. S.L.Ko, J.K.Lee, G.B.Jun, "Measurement technology for micro burrs," 5th international conference deburring and surface finishing, pp. 314~326, 1998.
3. S.L.Ko, G.B.Jun, J.K.Lee, "Development of burr measurement system using laser," 4th Korea-Japan joint technical conference on surface finishing & burr technology, pp. 66~76, 1999.
4. 박 종성, 정 규원, "광삼각법을 이용한 레이저 변위 센서의 특성 연구," KSPE 제16권 제 7호 (총권 100호), pp. 40~49, 1999.
5. M.Adachi, Y.Kitagawa, T.Matsumoto, K.Inabe, "Shape measurement of rough step like using a laser diode," JSPE Vol. 65, No. 3, pp. 418~422, 1999.
6. Keyence catalog.
7. OpenGL superbible.