

3차원 측정 데이터의 B-스플라인 곡면식 적용에 대한 연구 A Study on the Generation of B-Spline Surface by 3D Measurement Data

구영희, 이동주

충남대학교 기계공학과 대학원, 충남대학교 기계공학과

Abstract

The purpose of this study is the generation of B-spline surface by the 3D measurement data. The hardware of the system comprises PC and digitizing machine, machining center. There are three steps, (1) physical model measuring on the 3D laser digitizing machine, (2) B-spline surface modeling and Fairing, (3) CNC machining by the NC code. It is developed a software package, with which can conduct a micro CAM system in the PC without economical burden.

Key Words : 3D laser digitizing machine(레이저 형상 측정 장치), physical model(실물 형상 모델), CAM system(CAM 시스템)

1. 서론

오늘날 형상 모델의 모형 인식, 측정을 목적으로 한 임의의 곡면 형상 등에 대한 고속 자동화된 3차원 측정에 대한 요구는 급속히 증가되고 있다. 생산 현장의 이용뿐만이 아니라, 멀티미디어의 활용상, 정형외과 수술 등을 위해서 부분적으로 제품이나 사람의 형상을 수치 데이터로서 측정, 기록하여 이용하는 기술이 필요로 되고 있다.

또한, 이미 제작된 제품을 해체해보고 다시 조립 하면서 기능이 향상된 제품을 개발하는 리버스 엔지니어링(reverse engineering)은 제품 설계에서 흔히 사용되는 기법인데[1,2], 이와 같이 리버스 엔지니어링 기법을 이용하여 제품 설계시 곡면의 형상 설계는 3차원 측정 데이터 점들을 이용하여 측정된 점을 이어나가는 보간법이나 근사치를 이용하는 근사법이 사용된다.

형상 모델이나 제품이 단순한 평면이나 원통면, 구면 등의 해석 곡면으로 이루어져 미리 판단할 수 있는 경우는 몇 개의 데이터로서 그 형상을 표현하는 것 도 가능하지만, 측정 곡면이 복잡한 자유 곡면이고, 측

정 정밀도가 상당히 높은 경우는 측정 형상에 대한 표현력을 높이기 위해서 측정점 수는 증가하게 된다. 하나의 예로서, 안면 형상을 측정하는 경우에는 수백 점에서 수천 점의 오더(order)의 점군 데이터가 필요하다. 그러나, 실제로 필요한 정보는 오차를 포함한 점군 데이터에서 넘겨주는 형상을 정의하는 지표가 되는 값이다.

이와 같은 방법을 통하여 컴퓨터를 이용한 제품 설계시에 가장 중요한 평가 기준은 곡선이나 곡면의 평활도(smoothness)와 관련된다. 즉, 형상 모델의 보간 정밀도가 아니라 모델의 외관(style)이 설계자가 판단하기에 만족스러운가하는 것이다. 컴퓨터내에서 3차원 형상(model)을 작성하기 때문에 수학적식으로 표현이 용이한 형상, 단적으로는 평면, 원통면, 구면 등을 조합시켜서 이루어지고, 복잡한 자유 곡면에 대해서도 수식으로 표현할 수 있는 곡선, 곡면이 사용되고 있다. 이러한 방법이 번거롭다는 설계자의 말에 따르면 CAD 상의 차이점, 단적으로 말하면, 곡면식을 표현하고 있는 함수에 따라서 형상이 미소하게 차이를 보인다고 말하고 있다.

또한, 설계 과정에서 변경이 국부적으로 가능하며 제한된 부위에 가해진 수정이 전체 곡선이나 곡면의 형상에 영향을 주지않는 것이 중요하다. 따라서, 근사법은 최소한 부분적으로나마 이러한 요구 조건들을 만족하고 있으며, 곡선이나 곡면의 표현시 주어진 측정 데이터의 모든 점을 정확히 통과하는 것이 아니라, 이러한 점들을 근사화하여 부드러운 형상을 만들어내게 된다. 이러한 대표적인 근사법으로는 베지에르와 B-스플라인이 많이 쓰이고 있다.

이와 같이 형상 설계된 곡면은 부분적인 측정점의 오차로 인하여 굴곡이 많이 생김으로서 원래의 곡면보다 질이 떨어지기 쉽다. 이러한 부분적인 결점을 찾아내어 입력 데이터를 허용 한도내에서 이동시키는 곡면의 평활화(fairing) 및 오류의 확인과 수정작업을 거치게 된다. 이와 같이 설계자가 요구하는 외장성을 살리면서 이루어지는 신제품의 개발 과정에 B-스플라인 곡면식을 적용하는 연구를 수행한다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서 개발하는 시스템은 크게 나누어 측정 시스템, 형상 설계 시스템, 가공 시스템의 3가지 시스템으로 구성되어 있다. Fig.1에 시스템의 구성과 작업의 흐름도를 나타내고 있다.

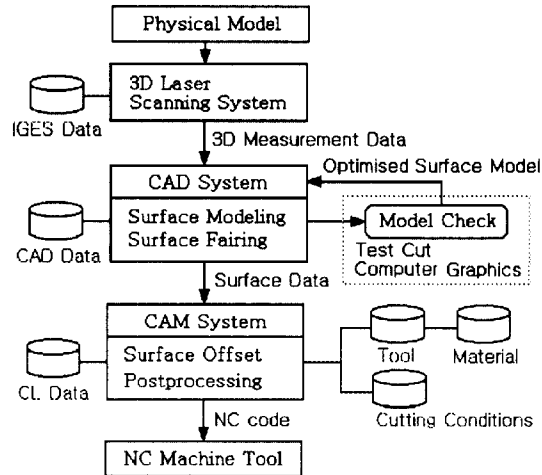


Fig.1 System architecture

측정 시스템은 레이저 형상 측정 장치(3D laser digitizing machine ; Surveyor 1200, 한국 에스피시)를 이용하여 형상 모델이나 제품을 측정하는 시스템으로서, 3차원 측정 데이터는 서로 다른 시스템간의 중간 파일로 이용되어 데이터를 판독하거나 옮길수 있는 IGES 파일을 매개로 하여 형상 설계 시스템으로 전달 된다.

형상 설계 시스템은 형상 모델이나 제품의 3차원 측정 데이터를 이용하여 이들의 곡면 형상을 나타내기 위해서 미분값의 연속성을 판별하여 절점(knot)을 설정하는 방법 등을 통하여 B-스플라인 곡면식에 의해서 형상을 설계하고, 얻어진 곡면 데이터를 원하는 작업을 위하여 출력시키는 시스템으로서, 측정 데이터의 오차에 의한 원하지 않는 굴곡을 제거하기 위하여 입력 데이터를 허용 한도내에서 이동시킴으로써, 곡면을 보다 평활(smooth)하게 하는 과정에 병행하여 데이터의 압축도 고려하고 있다.

가공 시스템은 곡면 데이터로부터 황삭 가공에서부터 정삭 가공에 사용되는 임의의 공구 형상에 대응하는 오프셋(offset) 곡면을 생성하여 공구 간섭을 방지하고, NC 가공을 위한 공구 위치 경로와 NC 가공 정보를 생성하여, 머시닝 센터(machining center) 등과 같은 CNC 공작 기계에서 기계 가공을 수행한다.

3. 측정 데이터의 처리

본 연구의 대상으로서 이용하는 점군 데이터는 Fig.2에서와 같이 레이저 형상 측정 장치(3D laser digitizing machine)에 의하여 출력된 이산적인 점군 데이터이다. 측정 데이터의 특징으로서는 X 또는 Y방향으로는 등간격이며, Z방향으로 여러개의 값을 취하지 않고, Z방향의 오차가 X,Y방향에 비하여 크다는 것이다. 측정 데이터는 IGES(initial graphic exchange specification) 파일을 중간 파일로하여 측정 시스템에서 본 연구에서 개발하는 시스템으로 데이터를 입력시키고 있다.

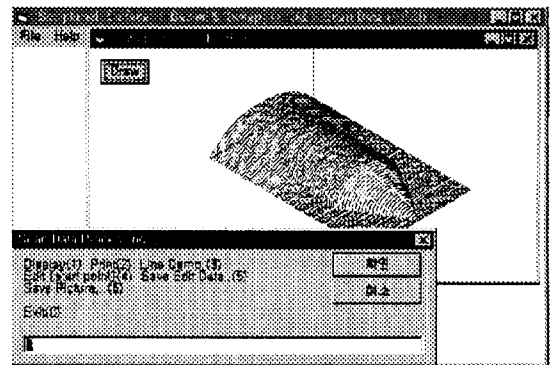


Fig.2 Measuring data (IGES file)

측정 오차에 의한 데이터의 굴곡을 평활화하고, 처리된 형상 데이터를 기계 가공이나 그래픽 출력 등의 요구하는 작업에 적합한 형상으로 변환하여, 다량의 점군 데이터를 압축하기 위해서는 측정 데이터에 매개변수(parametric) 표현의 곡면 표현식의 함수를 적용시키는 방법이 바람직하다고 생각된다. 이와 같은 측정 데이터에 대하여 1차 미분값이 연속이 되도록 데이터를 판별하고, 매개변수(parameter)에 의한 B-스플라인 함수를 적용시킨다.

대개의 형상 모델은 3차원 측정 점군 데이터로서 표현되지만, 예를 들면 100×100mm을 0.5mm마다 측정하면, 4만개나 되는 비대한 데이터가 얻어진다. 이와 같이 많은 양의 점군 데이터의 처리를 위해서는 대량의 점군 데이터를 그대로 취급하는 전용 CAD/CAM 시스템의 사용이나 기존의 CAD/CAM 시스템과의 결합이 필요하다.

일반적으로 점군 데이터를 그대로 취급하는 전용 시스템에서는 이웃하는 4개점을 직선보간하여 4개 가장자리의 패치(patch) 집합체로서 모델을 취급한다. 이와 함께 CAD 기능에는 데이터의 편집기능을 가지며, 정리되고 보정된 측정 데이터를 CAM 시스템으로 보

내어 NC 데이터를 생성하고 있다.

한편, 데이터의 평활화(smoothing)도 큰 문제이다. 형상 모델이나 제품을 측정하여 얻어진 점군 데이터는 측정 오차($\pm 50 \mu\text{m}$ 이내)를 가지고 있기 때문에 측정 데이터를 그대로 사용하여 생성된 NC 데이터로 기계 가공을 하면 미세한 요철이 생긴다.

그러나, 데이터의 평활화를 단순히 수행하면, 삭제되어야 할 요철과 남아있어야 할 부분이 함께 제거되는 잘못된 경우가 생긴다. 본 연구에서는 입력된 측정 데이터의 접선 벡터를 계산하고, 점 데이터를 최대 허용값(tolerance) 범위내에서 이동시킴으로써 보다 평활한 곡면을 얻는 방법으로 해결하고 있다[3].

또한, 실물 형상 모델의 측정 데이터로부터 특징선(character line)을 추출하면 그 다음의 공정인 설계, 가공에 있어서 대단히 유용하다[4]. 비대한 점군 데이터의 집합으로 되어 있는 측정 시스템의 모델과 CAD 시스템에서는 데이터 구조가 다르므로, 간단하게 데이터의 전달이 이루어지지 않으므로, IGES에 근거한 대표 점군 데이터나 특징면으로 분할하여 전달하는 2가지 방식을 적용한다. 후자의 경우에 대해서는 그 일부가 실현되어 있지만[5], 범용적인 방법이 있어서는 미해결 문제가 있으며, 형상 급변부를 특징선으로 추출하여 이 특징선의 범위에 있는 각 부분을 형상 분리하고, 각 부분을 형상 해석하여 곡면 함수로 바꾸는 방식이다. 2차 곡면식에 해당되는 것까지는 실현되어 있지만, 자유 곡면에 대해서는 앞으로의 연구 과제이다.

4. B-스플라인 곡면식의 적용

이산적인 점군 데이터를 이용할 수 있는 매개변수 형식의 곡면의 표현 방법으로 매개변수 3차 곡면, 베지에르(Bezier) 곡면, B-스플라인 곡면이 있다.

매개변수 3차 곡면과 베지에르 곡면은 기하학적인 상관 관계가 분명하기 때문에 상호간에 변환이 용이하고, 패치(patch)의 연속에 의하여 곡면을 정의하기 때문에 각각의 패치가 독립되어 있으므로, 패치의 연속성을 높이기 위해서 곡면식을 적용시키는 단계에서부터 패치의 연속성을 경계 조건으로하여 계산을 수행하지만, 패치 정의 후에 연속성 향상의 조작을 수행하지 않으면 안된다.

이에 대하여 B-스플라인 곡면의 경우는 패치(patch)의 개념으로 곡면을 정의하는 것이 아니라, 절점(knot)와 조정점(control point)를 증가시킴으로써 차수(degree)에 관계없이 표현 능력을 높일수 있다. 중복 절점(multiple knot)를 가지지 않을때, 함수의 오더

(order)가 k 이면, B-스플라인의 연속성은 위치와 1부터 $k-2$ 차 미분연속이 보증되고 있으며, 중복 절점을 가지는 경우에 대해서도 연속성을 C^1 및 C^0 급까지 높이는 것이 자유롭다. 또한, 조정점의 개수가 B-스플라인 블렌딩 함수 혹은 기저 함수(basis function)의 오더와 같고, 비주기적 절점 벡터가 사용되는 경우에는 기하학적으로 완전히 동등한 베지에르 곡면으로 변환할 수 있다.

B-스플라인 함수에서 차수(degree), 조정점의 개수, 절점의 개수는 서로 연관되어 있으며, 블렌딩 함수는 다항식의 1차 결합으로 주어진 것이므로, 다항식의 차수는 임의로 지정할 수 있는데, 설계자가 차수를 선택하는 기준의 최대 요소는 연속성이다. 일반적으로는 함수의 차수가 증가하는 정도로 표현 능력이 향상하여 연속성이 증가되므로, 적용에 적절한 것을 고려해야 하지만, 현실적으로 측정 대상 곡면이 고차의 함수 곡면으로 주어졌을때, 적용을 보다 정확히 수행하기 위해서는 부분적으로는 미분값의 연속성을 낮추지 않으면 안되는 경우도 있다.

본 연구에서는 매개변수 3차 곡면, 베지에르 곡면과의 변환을 고려하여 3차 B-스플라인 곡면을 이용하며, 우선 기본으로 이용하고 있는 비주기적 또는 열린 절점 벡터(open knot vector)는 양끝에서 함수의 오더 k 와 동일한 개수의 중복 절점값을 가지며 내부 절점은 등간격으로 되어 있다.

조정점의 결정은 일반적인 선형 최소 자승법을 이용한다. 이 경우에는 절점이 어느 정도 적절한 위치에 있을 필요가 있으므로, 어떤 경우가 적절한가의 판정에 대해서는 아래에서 기술한다. 그 방법을 이용하여 어떤 특징적인 XZ 및 YZ 단면에 대하여 어느 정도는 최적인 위치에 절점(knot)을 설정하여, 그것을 기초로 하여 조정점의 계산을 수행한다.

본 연구에서는 B-스플라인 함수의 이와 같은 특성을 이용하여 곡면식에 적용하고자 한다. 아래에서는 B-스플라인 함수에 의한 곡면의 표현 방법, 단면 곡선에 대한 절점(knot)의 설정 방법, 기준 단면의 결정 방법, 실제로 계산을 수행하는 정규 방정식의 계산 방법과 연립 방정식의 해법에 대해서 설명한다.

4.1 B-스플라인 함수에 의한 곡면의 표현

레이저 형상 측정 장치에 의한 점군 데이터를 이용하여 얻어지는 X 또는 Y좌표값 등간격의 점군 데이터는 B-스플라인 함수에 의하여 점군 데이터와 정의되는 곡면사이의 오차를 최소화시킴으로써 설계자가 원하는 유연한 곡면을 생성하게 된다.

B-스플라인 곡면은 텐서곱(tensor product)에 의해서 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) C_{i,j} \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 $C_{i,j}$ 는 조정점이고, $N_{i,k}(u), N_{j,l}(v)$ 는 B-스플라인 블렌딩 함수(blending function)이다. i 번째 블렌딩 함수는 다음과 같이 재귀적으로 정의된다.

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & t_i \leq t \leq t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-t_i)}{(t_{i+k-1}-t_i)} N_{i,k-1}(t) \dots\dots\dots(2)$$

$$+ \frac{(t_{i+k}-t)}{(t_{i+k}-t_{i+1})} N_{i+1,k-1}(t)$$

여기에서 k 는 곡면의 오더이며, t_i 는 절점 벡터이다. $N_{j,l}(v)$ 도 같은 형태의 절점 벡터의 함수로 나타낼 수 있다. 두 매개변수 방향으로의 절점 벡터는 주기적/균일(periodic/uniform), 비주기적(nonperiodic), 비균일(nonuniform) 절점 벡터로 분류될 수 있다. 곡면은 조정점에 의해서 생성되는 정의 다면체(polyhedron)의 내부에 위치하며, 한 개의 조정점을 움직이면 곡면의 일부분만 영향을 받는 국부 조정 특성을 가진다.

식(1)의 $N_{i,k}(u), N_{j,l}(v)$ 는 정규화된 블렌딩 함수이고, 실제적으로는 Cox-de Boor의 알고리즘에 따라서 식(2)를 이용하여 재귀적으로 계산된다. B-스플라인 곡면은 볼록포 특성(convex-hull property)과 함께 정규화 특성(normalizing property)을 가지므로,

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) = 1 \dots\dots\dots(3)$$

의 조건을 최종적으로 이용하여 계산된다. 또한, 역으로 주어진 $C_{i,j}$ 는 $k-1$ 차 함수의 1차 결합의 계수로서 취급하는 것이 된다.

4.2 미분값의 연속성 판별

블렌딩 함수 $N_{i,k}(u)$ 는 $k-1$ 차의 다항식 형태로 정의된다. $k=4$ 의 경우, 2차 미분값은 Fig.3(a)와 같은 절곡 선상의 1차식으로 표시된다. 따라서, $C_{i,j}$ 가 곱해진 총합을 취한 경우이므로, 전체로서는 연속적 1차식으로 되는 것으로 생각된다.(Fig.3(b)) 다음에 그 꺾인 점은 절점(knot)의 부분에서 나타나고 있으므로, 대상으로 하는 데이터가 속하면, 판정하는 면이 곡선의 2차 미분값을 추정하여, 꺾인 선 근사를 한 경우의 굴곡점의 판별을 수행하여 그 꺾인 점에서 절점을 치환하여 조정점(control point)을 구하면, 전체적으로 유연성이 보장된다.

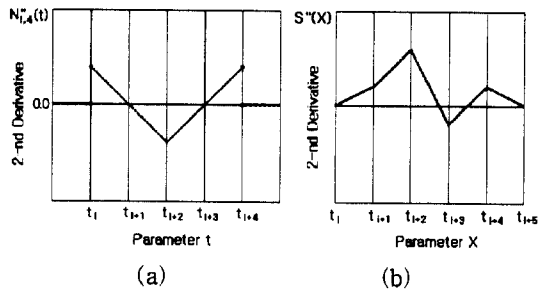


Fig.3 Values of 2-nd derivative

다음에, 직선 근사한 근사 2차 미분값의 굴곡점을 나타낸 것은 근사 3차 미분값을 각점마다에서 구하여 그 불연속 점을 탐색하는 것이 된다. B-스플라인 함수는 중복 절점(multiple knots)이 없는 경우는 C^{k-2} 급의 연속성이 보장되고 있지만, n 개의 중복 절점($n \leq k-1$)의 부분에서는 연속성은 C^{k-1-n} 급까지 낮아지게 된다. 이러한 이유때문에, 근사 3차 미분값의 불연속점에서 절점을 치환한 만큼, 근사 2차 미분값이 불연속으로 되는 부분에 2중의 절점을 설정하여 적용하면, 더욱 유연하게 적용이 이루어진다.

이러한 근사 미분값의 불연속점 판별 방법으로 본 연구에서는 판별을 수행하는 점의 전후 몇개의 점까지를 적용하여, 그 미분 계수를 비교하는 방법을 이용하고 있다. 본 연구에서는 판별점의 전후 4점까지를 통과하는 곡선을 계산하여 이용하고 있으며, 이용되는 함수는 다음식으로 나타낸다.

$$S_i(t) = a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i, \quad i = 1, 2 \dots\dots\dots(4)$$

여기에서, $S_1(t)$ 을 앞의 4점, $S_2(t)$ 를 뒤의 4점에 적용한 함수이다. 미분값의 연속성 판별에 의한 절점의 설정에 따른 급수와 판정값, 중복 절점의 갯수를 table.1에 나타낸다.

Continuity	Value of function	Knot
C^0 Class	$ S_1(t) - S_2(t) $	4
C^1 Class	$ S'_1(t) - S'_2(t) $	3
C^2 Class	$ S''_1(t) - S''_2(t) $	2
C^3 Class	$ S'''_1(t) - S'''_2(t) $	1

Table.1 Numbers of multiple knots

본 연구에서 대상 데이터는 1차 미분값까지는 연속하고 있는 것으로 판정하고 있으므로, C^2 급 이하의 미분값에 대해서 연속성의 판정을 수행하고 있다.

레이저 형상 측정 장치에 의한 측정 데이터는 오

차를 포함하고 있기 때문에 연속성 판별값이 0으로 되는 것은 없으므로, 데이터 점의 중간점 전체에 대하여 위에서 설명한 판별값을 구하여, 그 값이 어떤 기준값 이상을 취하는 경우에는 미분값의 불연속 점으로 판별하여 절점 설정을 수행한다. 연속성 판별값으로서 C^3 급의 판별값은 식(4)을 이용하므로, $|6a_1 - 6a_2|$ 의 값을 계산하는 것이 된다.

4.3 기준 단면의 결정

레이저 형상 측정 장치에서 얻어진 데이터의 곡면 형상은 X,Y 방향의 단면과는 전혀 관계가 없는 곡면도 있다. 이와 같은 데이터에 대하여 X,Y 방향의 절점(knot)으로 적용을 수행하는 경우, 가장 확실한 방법은 시행착오법(trial and error method)이며, XZ, YZ의 각 단면에 대해서 절점(knot)을 결정하여 최소자승법으로 분할하는 방법도 있지만, 유사한 단면에 대하여 중복 절점을 설정하여 전체의 디테일(detail)이 부드럽게 표현될 수 있다고 생각된다.

또한, 단면이 어느 정도 원활하게 되는가는, 절점의 개수가 많으면, 적용은 보다 원활하게 이루어진다. 본 연구에서는 가장 요철이 큰 단면을 기준으로하여 절점을 설정하는 방법을 취하고 있다.

요철의 정도를 판단하는 기준으로서 단면 곡선의 길이를 직선 근사에 의하여 구하고 있다. 전체 단면에 대하여 이러한 근사 곡선의 길이를 비교하여 가장 길이가 긴 단면을 기준으로하여 앞에서 설명한 연속성 판별 방법을 이용하여 절점(knot)을 결정한다.

4.4 최소 자승법에 의한 조정점 계산

위에서 기술한 방법에서 X,Y 방향의 절점이 설정되고 있는 조건에서 조정점을 선형 최소자승법(least-squares approximation method)으로 구한다[6]. 선형 최소자승법은 보통 적용을 수행하는 함수를 매개변수에 관한 다음과 같은 선형 다항식으로 나타낸다.

$$S(x) = \sum_{i=0}^N C_i X^i \dots\dots\dots(5)$$

실제로 얻어진 측정값 $F(x)$ 와의 차이의 제곱의 합을 계수 C_i 로 미분한 도함수값을 0으로 하여, C_i 에 대한 연립1차 방정식으로 해를 구하는 방법을 이용한다. 이러한 행렬식을 정규 방정식이라고 부른다.

$$\frac{\partial}{\partial C_i} \left[\sum_x (S(x) - F(x))^2 \right] = 0 \dots\dots\dots(6)$$

정규 방정식은 단순한 연립1차 방정식으로서 표시되므로, 기존의 각종 해법, 예를 들면, 가우스 소거법(Gaussian elimination) 등을 이용하여 구하게 된다.

5. 곡면식의 적용 결과

본 연구에서 제시된 방법을 이용하여 생성된 곡면 데이터의 평활화 및 적용 정밀도의 평가를 수행한다. 정밀도의 평가는 측정 데이터점과 B-스플라인 곡면과의 차이 평균값을 이용하여 수행하며, 평활화의 평가는 직선 근사에 의한 등고선 표시법에 의한 비교 방법을 이용하며, 최종적으로는 가공 시스템에 의한 기계 가공을 통하여 오차에 의한 영향과 평활화의 효과를 비교한다.

Fig.4~Fig.5는 안면 형상을 2mm 간격으로 81점을 측정한 단면 형상에 대하여 절점을 등간격으로 설정하여 그 분할수를 변화시킨 경우, 3종류의 절점 설정 방법으로 절점 설정을 수행한 경우의 출력예이다.

Fig.4는 절점을 등간격으로 설정한 경우의 2, 4, 8, 16, 32 분할로 적용한 경우이다.

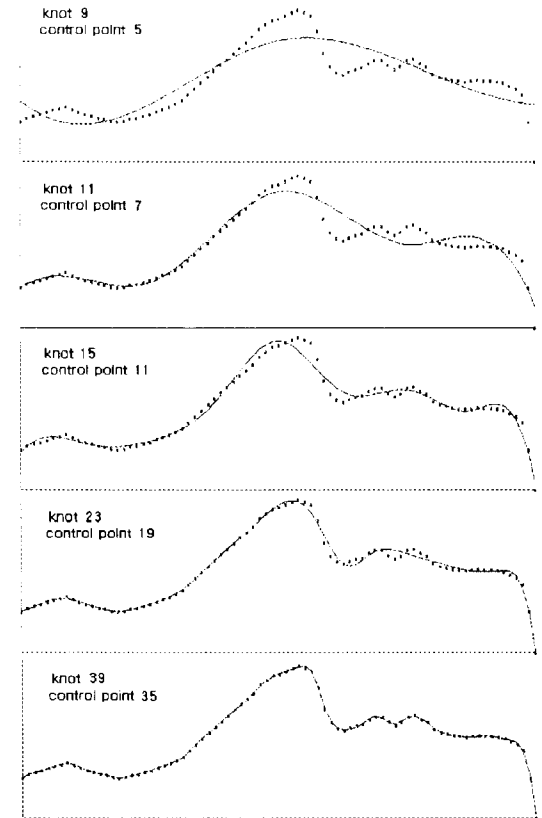


Fig.4 Examples of B-spline curve generation

Fig.5는 3차 B-스플라인에 대하여 절점(knot)의 설정을 ① 등간격, ② 데이터 점의 직선 근사, ③ 미분

값의 연속성 판별 방법에 의한 경우이다.

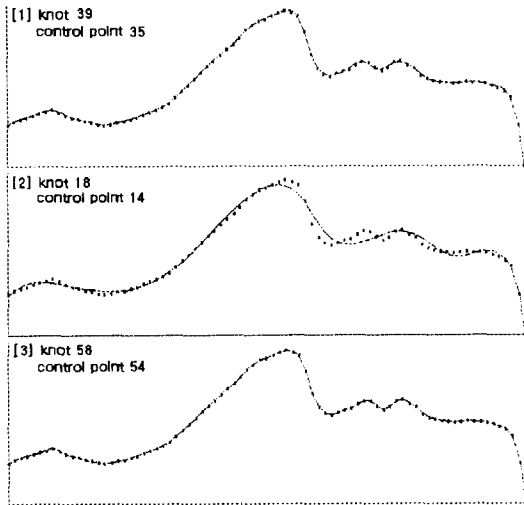
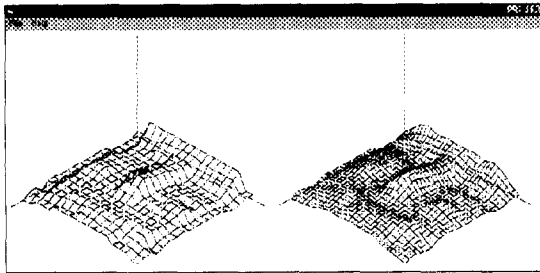


Fig.5 Examples of B-spline curve generation

안면 형상의 19×19점, 361개의 측정 데이터에 대하여 미분값의 연속성 판별에 의하여 절점을 설정하여 평활화를 시도하였다. 연속성 판별의 기준값은 2.0, 3.0이며, 절점수를 증가시킴으로써 표현 능력을 향상시킬 수 있다. 절점(knot)은 16×16, 조정점(control point)은 12×12=144개이다. Fig.6(a)는 측정 데이터의 출력에이다. 오차에 의한 데이터의 굴곡이 있다.



(a) Measuring data (b) Fairing data

Fig.6 Example of surface modeling

Fig.6(b)에서 보면, 측정 오차에 의한 굴곡은 작게 되었지만, 미세한 뉘앙스(nuance)는 잃게되었다. 곡면 전체로서의 요철은 잔재하는가, 미묘한 형상의 차이로 오차로 하는가, 특징으로 하는가는 설계자의 판단에 따르는 부분이라고 할 수있다.

6. 결론

3차원 곡면 형상의 리버스 엔지니어링(reverse

engineering) 기법에 의한 설계 과정에 있어서 3차원 측정 데이터에 대하여 1차 미분값의 연속성을 고려한 B-스플라인 곡면식의 적용 원리와 방법을 제시하였다. 측정 곡면으로부터 얻어진 근사 미분값을 가지고 절점 벡터(knot vector)를 결정하였고, 이를 기초로 하여 측정 데이터와 설계 곡면사이의 거리를 최소로 하는 최소 자승법에 의하여 조정점을 계산하였다.

이와 같이 결정된 절점 벡터와 조정점을 이용하여 곡면 측정 데이터의 곡면식 적용을 수행하여 다음의 결과를 얻었다.

1차, 2차 미분값의 연속성이 존재하는 형상 측정 데이터에 대해서 본 연구에서 제안된 방법을 적용하여, 그 유효성을 확인하였다.

곡면 형상 측정 데이터의 평활화(smoothing)를 본 연구에서 제시한 방법으로 수행하여, 곡면 가공 시스템과의 통합 처리 작업을 통하여 측정 오차를 제거하여 곡면 형상의 재현이 가능하다는 것을 확인하였다.

7. 참고 문헌

- [1] J.Y. Lai, C.Y. Lu, "Reverse Engineering of Composite Sculptured Surface", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.12, pp.180-189, 1996
- [2] C. Bradley, G.W. Vickers, M. Milroy, "Reverse Engineering of Quadric surface Employing Three-dimensional Laser Scanning", Journal of Engineering Manufacture, Vol.208, pp.21-28, 1994
- [3] J.A.P. Kjellander, "Smoothing of Bicubic Parametric Surfaces", Computer-aided Design, Vol.15, No.5, pp.288-293, 1983
- [4] M.J. Milroy, D.J. Weir, C. Bradley, G.W. Vickers, "Reverse Engineering Employing a 3D Laser Scanner: A Case Study", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.12, pp.111-121, 1996
- [5] 구영희, 이동주, "3차원 측정 곡면의 효율적인 NC 가공을 위한 공구 경로 생성", 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp.207-212, 1997
- [6] D.J. Weir, M.J. Milroy, C. Bradley, G.W. Vickers, "Reverse Engineering Physical Models Employing Wrap-around B-spline Surfaces and Quadrics", Journal of Engineering Manufacture, Vol.210, pp.147-157, 1996