

Reverse Engineering을 위한 보간곡선,곡면의 가공 및 오차 보정 Manufacturing and error compensation of interpolated curves and surfaces for reverse Engineering

양재봉(충남대학교 기계공학과 대학원), 이동주(충남대학교 기계공학과)

Abstract

Reverse engineering involves digitizing a three-dimensional model or part converting the data to a CAD database description and manufacturing by CNC. Currently, the digitization is done through measurements taken manually by a CMM or touch probe mounted on a CNC machinetool . Some reverse engineering techniques require close integration between the data collection method and the surface-fitting algorithms. Accurate surface data are collected by input to the surface fitting method . This study has been found that both the smoothness of surfaces and accuracy of surface fitting are related with the degree of the interpolated surfaces.

Key Words : Reverse Engineering, Bezier Curve, Curve Fitting

1. 서 론

자동차, 선박, 비행기등의 본체와 같이 복잡하고 다양한 형상은 일반적인 와이어 프레임 모델링만으로는 효과적으로 표현하기 어렵기 때문에 서페이스 모델링을 이용하여 물체를 정교하고 정확하게 표현해야한다.

최근에는 Laser Scanning에 의해 실물을 비접촉 측정하여 측정데이터(형상데이터)를 얻고, 이 데이터를 이용하여 베지에르 곡면 또는 NURBS 곡면등의 CAD 데이터 베이스를 구축하여 CNC가공을 할 수 있는 everse Engineering이 제시되고 있다¹⁾²⁾. Reverse Engineering은 3차원측정기(CMM)에 의해 측정된 데이터를 이용해 형상 모델링 을 하여 그 오차를 보정하는 새로운 보간곡면을 만들거나, 비접촉식 Laser Scanning에 의해 측정된 데이터를 이

용하여 형상모델링과 실물의 측정오차를 보정하는 새로운 보간곡면 형성을 반복함으로써 설계하고자 하는 곡면에 접근한 곡면을 형성할 수 있게 된다³⁾.

보간곡면을 형성하기 위해서는 베지에르식과 B-spline식, NURBS식등을 이용할 수 있는데, 본 연구에서는 베지에르식을 이용하여 형상모델링 및 오차보정을 실시하였다.

2. 관계 이론

2.1 곡선의 유형 및 정의

물체를 정의하는 곡선표현은 좌표 Data의 배열이나 해석 방정식에 의해 이룰 수 있다. 좌표 배열 방법은 Data 형태 변환을 위한 계산이 복잡하고, 곡선의 정확한 형태를 알 수 없어 곡선의 교차점이나 물체의 물리적 특성과 같은 정확한 계산이 어려워진다. 곡선의 해석 방정식은 설계자에게 곡선의 연속성, 곡률성, 형태, 제어 등에 대한 정보를 제공한다. 설계에서 합성곡선이 필요한 경우는 두 가지로, 하나는 측정된 Data점의 집합에 의해 곡선이 표현되는 경우이고, 다른 하나는 새로운 설계 요건을 만족시키기 위해 기존의 곡선이 변경되어야 하는 경우인데 이 경우 설계자는 Data점과 직접 관련되어, 하나 이상의 점을 변경하여 곡선의 형태를 변경시켜 충분히 유연한 곡선표현을 할 수 있다. 수학적으로 합성곡선은 주어진 Data점(조정점)을 지나는 유연한 곡선을 생성하는 곡선 집합 문제를 내포한다⁴⁾. 주요 CAD/CAM 시스템은 Hermite 3차 스플라인, Bezier 및 B-스플라인 곡선이라는 세 유형의 합성곡선을 제공한다.

2.2 Bezier곡선

곡선을 생성하는 방법중 보간기법을 이용하는 방법이 아닌 주어진 점을 통과하지 않는 곡선을 생성하는 근사 기법을 사용하는 것이 Bezier와 B-스플라인 곡선이다. 베지에르 곡선은 조정점(Control Points or Control Vertices) 즉, 곡선을 근사화하는

순서적인 점들의 집합(P_0, \dots, P_n)을 이용한다(Fig 1-1). 이 점들은 그래픽 화면에 나타내질 수 있으며 사용자가 곡선을 예측 가능한 형상으로 조절할 수 있도록 허용한다. 베지에르 곡선은 다항식 함수에 기반을 두고 있는데 이것은 자유곡선의 표현에 전형적으로 사용된다.

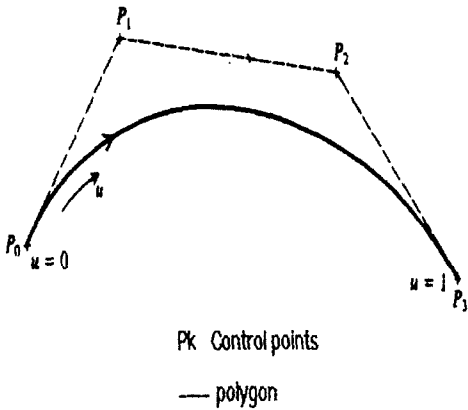


Fig. 1-1 A Bezier Curve and its defining Polygon

수학적으로 볼 때, $n+1$ 개의 조정점에 의해 Bezier 곡선은 다음의 n 차 다항식에 의해 정의된다.

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u)$$

여기서 $P(u)$ 는 곡선상의 임의의 점이며, P_i 는 조정점이다. $B_{i,n}(u)$ 는 베지에르 표현을 위한 블렌딩 함수이며, 번스타인 다항식(Bernstein Polynomial)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$B_{i,n}(u) = C(n, i) u^i (1-u)^{n-i} \quad 0 \leq u \leq 1$$

여기서 $C(n, i)$ 는 이항계수이다.

$$C(n, i) = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad i = 0, \dots, n$$

2.3 곡면의 유형과 수학적표현

자유곡면은 자유곡선의 텐서곱에 의해 표현되므로 자유 곡면에 대한 연구는 자유 곡선에 대한 연구와 더불어 이루어져 왔다.

1960년대초 J.C.Ferguson은 하나의 곡선 세그먼트(Curve Segment)를 파라미터를 이용하여 벡터로 기술하는 Ferguson곡면을 발표하였으며, 1964년 S.A.Coons는 곡면패치의 네개의 점을 위치벡터와 네개의 경계 곡선을 부여하여 그 경계조건을 만족하는 Coons곡면을 발표하였다. 1971년 P.Bezier는 하나의 다각형을 부여함으로써 정의되는 Bezier곡면을 발표하였는데, 곡선 세그먼트나 곡면패치(Surface Patch)는 다각형의 꼭지점의 위치벡터에 의해서만 정의될 수 있도록 하였다. 1946년 I.J.Schoenberg에 의해 소개된 B-Spline곡면 이론은 유연성이 좋고 국부적인 제어가 가능하기 때문에 현재 많은 형상 모델링 시스템에서 사용되고 있다^{5) 6) 7)}.

1972년에는 M.G.Cox와 Cox-de Boor가 B-spline에 대한 재귀 알고리즘을 정의하였으며, 1975년에는 K.Versprille가 B-Spline에 가중치(Weight Value)를 추가함으로써 곡면의 생성에 있어서 유연성을 향상시킨 rational B-spline의 효과적인 조정방법등을 제시함으로써 NURBS의 기초를 마련하였다. NURBS 곡면은 rational B-spline 기저함수에 의해 정의되는 rational B-spline 곡면의 한 형태로서, NURBS곡면을 표현할 수 있는 표현 구조는 모든 rational B-spline 곡면을 표현할 수 있다⁸⁾. 또한 rational B-spline 곡면은 rational B-spline 기저 함수의 인자들을 조절함으로써 Bezier 곡면과 B-spline곡면을 표현할 수 있다. 따라서 NURBS곡면은 다양한 형태의 곡면을 포함 할 수 있으므로 ACIS, I-DEAS, Pro/Engineer, DUCTS등과 같은 상용모델러에서 자유곡면의 표현 구조로 이용되고 있으며, 1983년부터 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)표준 형식으로 사용되고 있다.

2.4 베지에르(Bezier)곡면

텐서곱 Bezier(tensor product Bezier)곡면은 두 매개변수 방향인 U 와 V 로 Bezier곡선을 확장한 것이다. 베지에르 곡면은 곡선 공식의 단순한 일반화에 의해서 정의된다. 주어진 매개변수 쌍에 대한 곡면상의 임의의 점은 다음의 식에 의해서 계산된다.

$$P_{(u,v)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v), \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$$

여기서 $P_{(u,v)}$ 는 곡면상의 임의의 점이며 $P_{i,j}$ 는 조정점이다. 이들 점은 결과적인 베지에르 곡면의 조정점이나 특징 다면체를 형성한다(Fig 1-2).

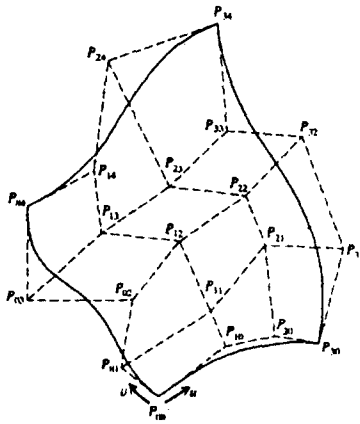


Fig. 1-2 4x5 Bezier Surface

위 식은 행렬형식으로 표현될 수 있다.

$$P(u, v) = U^T [M_B] [P] [M_B]^T V$$

여기서, 아래첨자 B는 Bezier를 표시하는 것이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Reverse Engineering을 위한 보간곡면 형성을 위하여 본실험에서 사용한 실험장치와 사용기기 및 계통도는 다음과 같다(Fig 2-1).

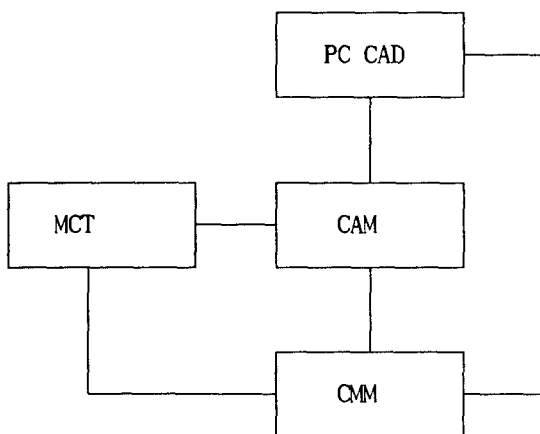


Fig. 2-1 Schematic diagram of test equipment

- 1) Computer(참보:Trigem 550CM-RB)
형식:CYBERNEX 550 ATX,
CPU:Pentium 133(MHZ)

Memory : 32Mb

- 2) PC CAD

Computer Vision 사의 PD/PM V 6.11

- 3) CAM장치

큐빅테크사의 OMEGA Version 2.0

- 4) 머시닝센터(MCT) :세일중공업

테이블크기 900 mm x 410 mm

- 5) 3차원측정기(덕인 : MHB-400C)

측정범위(X,Y,Z축): 420 x 420 x 320

분해능 : 0.0005(mm)

측정 테이블크기 : 900 x 900(mm)

3.2 실험방법

본 연구에서는, 3차원측정기(CMM)에 의해 측정된 측정 데이터로부터 형성되는 곡선 및 곡면을 해석하여 가공하는 Reverse Engineering에 대한 기본적인 방법을 연구하기 위해, 곡선 및 곡면상의 주어진 점을 계산적으로 알 수 있는 3점을 지나는 원호(Arc)를 이용한 회전곡면을 선택하였다. 선택된 곡면을 CAM장치에 의해 NC데이터를 만든 후 머시닝센터로 가공하여 CMM으로 측정하였다.

본 연구에서는 CAD장치에 의해 곡선을 생성할 때 CMM에 의해 생성된 임의의 곡선을 Bezier곡선으로 간주하고, 이에 대한 조정점(Control Points)을 Bezier식과 번스타인 다항식을 사용하여 구하였다. 조정점의 수가 곡선 및 곡면 모델링시 정밀도에 미치는 영향을 알아보기 위해 조정점을 3개, 4개, 5개, 6개, 7개를 사용하는 각각의 곡선 및 곡면을 생성하였다. 생성된 각각의 곡면을 CAM장치에 의해 NC 데이터를 만들어, 머시닝센터로 동일한 가공조건으로 가공한 후 CMM에 의해 측정하여 측정값을 얻는다. 각각의 곡면을 측정한 측정값과 원호를 이용한 회전곡면 측정값을 비교해석하였다.

본 연구에서는 비교된 데이터를 이용하여 실제 가공했을 때 가공오차를 줄이기 위해, 조정점을 재구성하여 보간곡면을 형성한 뒤, 가공 후 측정하여 오차가 0에 접근될 때까지 반복하는 방법을 사용하였다⁹⁾.

4. 실험결과 및 고찰

측정데이터에 의해 생성된 곡선을 번스타인 다항식과 베지에르 곡선식에 의해 조정점을 결정하여 곡면을 생성 가공한 후 측정해서 기본곡면과 비교한 결과는 Fig. 4-1 및 Fig. 4-2와 같다. Fig. 4-1은 곡

선의 차수(degree)가 3차인 낮은 경우로(조정점 4개 사용), 오차의 범위가 일정하지 않아 보간곡면을 생성하기에 어려움을 보여준다. Fig. 4-2는 차수가 높은 5차 곡선의 경우로(조정점 6개 사용), 오차 범위가 일정함을 나타내고 있다. 이러한 실험 결과를 통해 보간곡면의 생성은 높은 차수의 곡선을 이용하여 곡면을 생성하는 것이 바람직하다는 사실이 발견되었다.

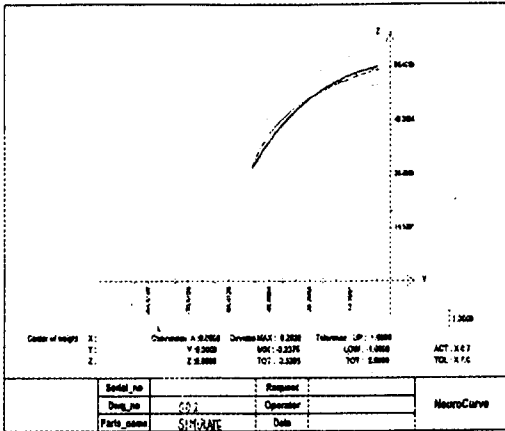


Fig. 4-1 Comparison between Bezier curve generated from four control points and arc on original surface

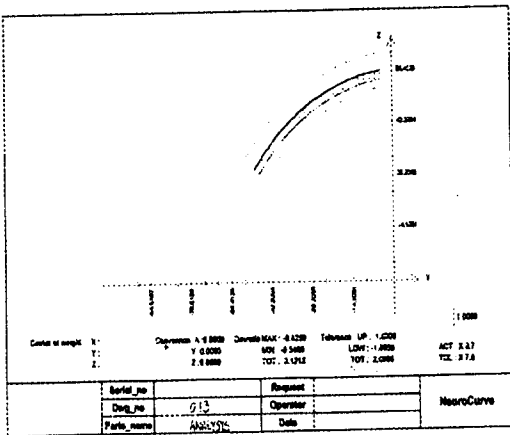


Fig. 4-2 Comparison between Bezier curve generated from six control points and arc on original surface

Table 1은 일차 보간곡면을 이용해 가공후 측정 한 값을 기본곡면의 측정값과 비교한 것을 나타낸다. Fig. 4-3은 곡면 상에서의 측정값 비교를 곡선으로 나타낸 것으로 오차범위가 -0.22 에서 -0.14 mm

사이로 원하는 곡선에 근접된 것을 알 수가 있다.

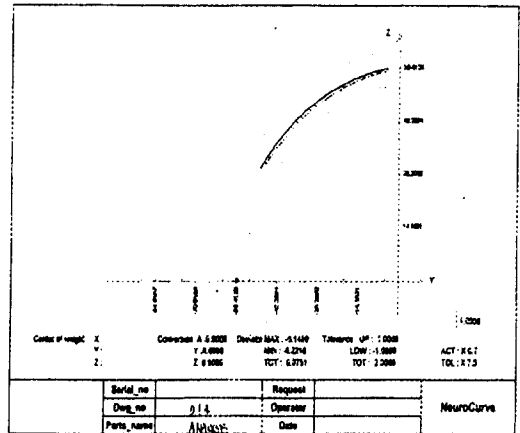


Fig. 4-3 Comparison between Bezier curve constructed by compensation and arc on original surface

Fig. 4-4는 Fig. 4-3의 곡선을 다시 보정하여 생성한 보간곡면을 가공후 측정 한 것으로, 오차가 일부분을 제외하고 -0.01에서 -0.04 mm로 매우 정밀하게 나타난다. Table 2는 두 번째의 보간곡면을 가공 후 측정 한 값과 기준면의 측정값을 비교한 것이다.

Table 1 Comparison of measuring results for offset surface and original surface by CMM

Curve Measuring Data							
Serial No.	Thick	Deg. No.		Radius			
Parts		Request		Date			
Operator		Operator		Date			
Range	84.00 ~ 148.00 Deg	Step	2.00 Deg				
Out Type	Angle	Tol Type					
Up tol	1.0000 mm	Low tol	-1.0000 mm				
Clr. Len.	68.7387	Aves					
No.	Nominal	R-ACT	A-ACT	R-NOM	A-NOM	DEV	EVAL
001	84.0000	84.2989	84.0000	84.3402	84.0000	-0.1904	OK
002	86.0000	86.2848	86.0000	86.4117	86.0000	-0.1471	OK
003	88.0000	88.1789	88.0000	88.3038	88.0000	-0.1748	OK
004	100.0000	98.0143	100.0000	98.1781	100.0000	-0.1847	OK
006	103.0000	98.0090	107.0000	98.0088	107.0000	-0.1808	OK
008	104.0000	98.8036	104.0000	98.9874	104.0000	-0.1838	OK
007	108.0000	98.7279	108.0000	98.8310	108.0000	-0.2033	OK
006	108.0000	98.8424	108.0000	98.9348	108.0000	-0.1624	OK
009	110.0000	98.9892	110.0000	98.7837	110.0000	-0.1875	OK
010	112.0000	98.5281	111.9999	98.7321	112.0000	-0.1888	OK
011	114.0000	98.8000	114.0000	98.8888	114.0000	-0.1989	OK
012	116.0000	98.4480	116.0000	98.6932	116.0000	-0.2084	OK
018	118.0000	98.2429	118.0000	98.6004	118.0000	-0.2075	OK
014	120.0000	98.0193	120.0000	98.0189	120.0000	-0.2088	OK
016	123.0000	98.4284	122.0000	98.6271	123.0000	-0.2087	OK
018	124.0000	98.4126	124.0000	98.6213	124.0000	-0.2087	OK
017	126.0000	98.4484	126.0000	98.6367	126.0000	-0.2143	OK
019	126.0000	98.4362	126.0000	98.6711	126.0000	-0.2142	OK
018	126.0000	98.4063	126.0000	98.7392	126.0000	-0.2210	OK
020	132.0000	98.5428	133.0000	98.7877	132.0000	-0.2181	OK
021	134.0000	98.6086	134.0000	98.8278	134.0000	-0.2193	OK
023	136.0000	98.6410	136.0000	98.8988	136.0000	-0.2088	OK
025	136.0000	98.7049	136.0000	98.8840	136.0000	-0.2092	OK
024	140.0000	98.2838	140.0000	98.0808	140.0000	-0.2044	OK
026	142.0000	98.9620	142.0000	98.1496	142.0000	-0.1970	OK
028	144.0000	98.0790	144.0000	98.2842	144.0000	-0.1883	OK
027	146.0000	98.2068	146.0000	98.3689	146.0000	-0.1798	OK
028	148.0000	98.3339	148.0000	98.5134	148.0000	-0.1653	OK

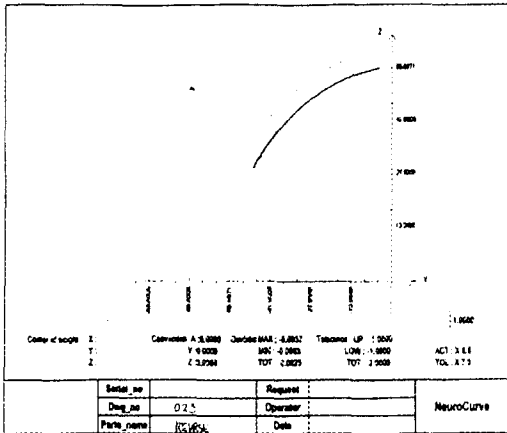


Fig. 4-4 Comparison between resulting Bezier curve constructed by compensation and arc on original surface

Table 2 Comparison of measuring results for resulted surface and original surface by CMM

Curve Measuring Data									
Serial No.	Part				Request				
Operator	Range				Step				
Out Type	Angle				Tol Type				
Up tol	1.0000 mm				Low tol				
Clr. Len.	63.3096				-1.0000 mm				
No.	Nominal	R-ACT	A-ACT	R-NOM	A-NOM	DEV	EVAl		
001	84.0000	84.0000	84.0000	84.0000	84.0000	0.0162	OK		
002	86.0000	86.0000	86.0000	86.0000	86.0000	0.0204	OK		
003	88.0000	88.0000	88.0000	88.0000	88.0000	0.0308	OK		
004	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	0.0281	OK		
005	102.0000	102.0000	102.0000	102.0000	102.0000	0.0334	OK		
006	104.0000	104.0000	104.0000	104.0000	104.0000	0.0313	OK		
007	106.0000	106.0000	106.0000	106.0000	106.0000	0.0257	OK		
008	108.0000	108.0000	108.0000	108.0000	108.0000	0.0181	OK		
009	110.0000	110.0000	110.0000	110.0000	110.0000	0.0106	OK		
010	112.0000	112.0000	112.0000	112.0000	112.0000	0.0081	OK		
011	114.0000	114.0000	114.0000	114.0000	114.0000	0.0037	OK		
012	116.0000	116.0000	116.0000	116.0000	116.0000	0.0066	OK		
013	118.0000	118.0000	118.0000	118.0000	118.0000	0.0085	OK		
014	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	0.0101	OK		
015	122.0000	122.0000	122.0000	122.0000	122.0000	0.0121	OK		
016	124.0000	124.0000	124.0000	124.0000	124.0000	0.0186	OK		
017	126.0000	126.0000	126.0000	126.0000	126.0000	0.0221	OK		
018	128.0000	128.0000	128.0000	128.0000	128.0000	0.0266	OK		
019	130.0000	130.0000	130.0000	130.0000	130.0000	0.0405	OK		
020	132.0000	132.0000	132.0000	132.0000	132.0000	0.0478	OK		
021	134.0000	134.0000	134.0000	134.0000	134.0000	0.0509	OK		
022	136.0000	136.0000	136.0000	136.0000	136.0000	0.0680	OK		
023	138.0000	138.0000	138.0000	138.0000	138.0000	0.0722	OK		
024	140.0000	140.0000	140.0000	140.0000	140.0000	0.0748	OK		
025	142.0000	142.0000	142.0000	142.0000	142.0000	0.0809	OK		
026	144.0000	144.0000	144.0000	144.0000	144.0000	0.0850	OK		
027	146.0000	146.0000	146.0000	146.0000	146.0000	0.0882	OK		
028	148.0000	148.0000	148.0000	148.0000	148.0000	0.0824	OK		

5. 결론

본연구는 Laser scanning에 의한 비접촉 측정데이터 및 3차원 측정기(CMM)에 의한 접촉 측정데이터에 의해 생성되는 곡선 및 곡면에 대한 보간곡선과 보간곡면을 생성하여 CNC 가공을 할 수 있는

Reverse Engineerig 방법을 제시하였으며 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) Reverse Engineering 시의 가공오차 감소 방법을 제시하였다.
- 2) Bezier 식을 이용한 곡선의 보간방법을 제시하였다.
- 3) Bezier식의 차수(조정점의 수)를 높혀 생성한 보간곡면을 가공했을 때 형상오차를 0.03mm 내로 정밀한 모델링을 할 수 있음을 제시했다.

참고 문헌

1. C Bradley, G W Vickers and M J Miloy, "Reverse engineering of quadric surfaces employing three-dimensional laser scanning", University of Victoria, British columbia, Canada
2. D J Weir, M J Miloy,C Bradley and G W Vickers, "Reverse engineering physical models employing wrap-around B-spline surfaces and quadrics", University of Victoria, British, columbia, Canada
3. Lee, A. C., Chen, D. P. and Lin, C. L., "A CAD/CAM system from 3D coordinate measuring data " , Int. J. Prod. Res., 28(12), pp.2353-2371(1990)
4. Beck, J. M., Farouki, R. T. and Hinds, J. K., "Surface analysis methode", IEEE Computer Graphics and Applies, 6(2), pp.18-36(1986)
5. D. T. Lee and F. P. Preparata, "Computatonal geometry a survey", IEEE Transe. Comput., Vol. C-33, No. 12, pp. 1072-1101,1984
6. David F Rogers, J. Alan Adams, "Mathematical Elements for Computer Graphics", McGRAW-HILL, Inc., 1990
7. F. Yamaguchi, "Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design", Springer-Verlag, 1988
8. Ibrahim Zeid, "Original CAD/CAM Theory and Practice",McGRAW-HILL, Inc., pp 244-248,1989
9. B Pham, "Offset curves and surfaces : a brief survey", Computer-aided Design, Vol. 24, No. 4, pp223-229(1992)