

선수부 선체형상 모델링을 위한 스킨링 연구

정형배^{†*}, 김찬석^{*}

목포대학교 선박해양시스템공학과^{*}

Skinning for Ship Forebody Modeling

Hyung-Bae Jung^{†*} and Chan-Suk Kim^{*}

Mokpo National University, Department of Naval and Marine Engineering^{*}

Abstract

This paper presents NURBS skinning for the forebody of ship. NURBS skinning is guessed as a good method to generate the faired surface of ship forebody, but it is very problematic in real ship design to generate resonable surface of ship forbody using skinning, because there are lot of problem to apply skinning and to get reasonable surface. One of main problem is data arrangement with design data. Irregular serial contour data arise so serious compatibility problem of knot vector. This paper suggests a whole process using skinning successfully in generating hull form of ship forebody. This process includes how to make the data set for skinning and how to execute compatibility procedure.

※ Keywords: NURBS, skinning(스킨닝), Basis function(기본 함수), Compatible(호환성)

1. 서 론

선박설계자의 작업공간(lofts)에서 그 용어가 유래된 스킨링(skinning)은 단면곡선들을 통과하는 부드러운 곡면을 생성하는 프로세스이다. 자동차, 항공, 조선 등의 산업분야에서 많이 이용되고 있으며 lofting이라고 불리기도 한다. 최근에는 NURBS

의 장점을 이용하기 위하여 NURBS를 기본으로 한 스킨링이 많이 시도되고 있지만, 곡선들의 호환성(compatibility)를 충족시키는 과정의 결과로 발생하는 조정점들의 증가속도가 워낙 크기 때문에 이 문제를 해결하기 위한 연구들이 이루어지고 있다.

Piegl and Tiller(1996), Piegl and Tiller(2000), Park(2000), Park(2001), Piegl and Tiller(2002) 등에 의해서 수행된 바 있다.

NURBS 스킨링은 각 단면 곡선을 동일한 차수와 동일한 노트 벡터를 유지하여야 곡면의 생성이

접수일: 2005년 11월 10일, 승인일: 2006년 4월 3일

† 교신저자: hbjung@mokpo.ac.kr, 061-450-2763

가능하므로 곡면생성 이전에 단면 곡선들을 동일 차수와 동일 노트 벡터로 만드는 프로시저(procedure)가 필요한데, 이 작업을 호환성작업(compatibility procedure)이라 한다. 동일 차수의 문제는 차수올림(degree elevation), 차수감소(degree reduction) 또는 산업현장에서 가장 유용한 3차(cubic)를 일방적으로 선택하여 해결이 가능하다. 동일 노트 벡터의 문제는 노트 삽입(knot insertion), 노트 제거(knot removal)를 통한 해결이 원칙적으로는 가능하지만 노트 삽입 결과로 발생하는 조정점 수자의 증가문제, 노트 제거로 인한 오차(error) 문제 등이 미해결 상태로 남아 있는 과제이다.

선박설계에서 기본설계 후 설계 데이터들은 프레임(frame) 별로 불규칙적으로 분포하게 된다. 이중 선수미부는 곡면형상이 복잡하여 곡면형성의 어려움의 대부분이 이 부분에 존재한다.

선체 형상의 곡면화에 대한 연구로는 윤병호 등(1985), 신현경과 박규원(1991), 김수영과 우일국(1992), 김동준(1993), 김동준과 윤태경(1994), 박지선과 김동준(1994), 임중현과 이규열(1997), 신현경 등(2000) 등에 의해서 수행된 바 있다. 하지만 이들은 근사에 기준을 두었거나, 3차원 그물망 곡선(mesh curve net)을 사용한 local interpolation 이었다. 그물망 곡선을 이용하여 복합곡면을 만들면 patch와 patch 사이에 연속성을 해결해야 하는 숙제가 남는다. 본 논문은 exact 보간에 의한 single patch를 생성하는 global interpolation에 대한 연구이다.

본 연구에서는 데이터들이 프레임 별로 불규칙적으로 분포하는 선수부의 경우를 대상으로 NURBS 스키닝을 하는 방법을 강구하였다. 차수는 입력 변수로서 하나의 차수를 선택하도록 하였고, 공통의 노트 벡터를 위하여 노트 삽입 알고리즘(knot insertion algorithm)을 사용하였다. NURBS 곡선 보간의 많은 경우 universal method(1998, 2001)를 사용하였는데 노트 벡터를 마음대로 선택할 수 있어 조정점 증가 문제를 수월하게 해결할 수 있었다(정형배 1998, 정형배와 김광수 2001).

2. 이론

본 논문에서 쓰이는 수식 표기의 일관화를 위하여 NURBS 곡선/곡면의 수식을 정의하고, 스키닝의 기본인 NURBS 보간 방법에 대해서 기술한다.

2.1 NURBS 정의

NURBS 곡선의 vector-valued polynomial 일반식은 다음과 같다.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n P_i R_{i,p}(u) \text{ ----- (1)}$$

$$R_{i,p}(u) = \frac{w_i N_{i,p}(u)}{\sum_{j=0}^n w_j N_{j,p}(u)}$$

여기에서

w_i : weight

P_i : 조정점

$R_{i,p}(u)$: rational basis function

$N_{i,p}(u)$: normalized B-spline basis function

p : degree

Basis function과 노트 벡터 정의는

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & T_i \leq u < T_{i+1} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{(u - T_i)}{T_{i+p} - T_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{(T_{i+p+1} - u)}{T_{i+p+1} - T_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u)$$

노트 벡터 T_i : 매개 변수 값의 범위를 0부터 1까지의 실수로 쪼개어 놓은, 증가하는 정렬을 가진 벡터. 단 개수 = 조정점 개수+차수+2

곡면을 표현하는 NURBS는 tensor product 형식으로 다음과 같은 일반식을 갖는다.

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{i,j} R_{i,p}(u) R_{j,q}(v)$$

2.2 NURBS Interpolation

설계 데이터를 Q_i 라고 하면, 이 설계 데이터를 NURBS 곡선이 통과하기 위해서는 (1)의 식에 의 해 다음이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & R_{i,p}(u_0) & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & R_{i,p}(u_1) & \cdot & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & R_{i,p}(u_n) & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} \text{----- (2)}$$

u_i : 선형다항식을 풀기위한 매개 변수

여기에서 u_0, u_1, \dots, u_n 은 각 Q_i 점에 할당된 매개변수 값이다. 조정점 P_i 는 (2)식에서 $R_{i,p}(u_i)$ 행렬을 식의 오른쪽으로 이동시키기 위하여 역행렬을 구하면 된다. $R_{i,p}(u_i)$ 행렬을 확정하기 위해서는 노트 벡터, 차수 및 매개 변수값을 확정하여야 한다. 차수는 설계의 여러 특성을 중시하여 설계자의 선택에 맡기고, 노트 벡터는 매개 변수값(parameter value)을 연관하여 구하면, 결국 어떻게 매개 변수를 결정하여 (2)의 식을 완성시키느냐가 숙제로 남는다. 매개변수값 u 를 구하는 방법은 수없이 많은 연구가 이루어지고 있으나 효율적인 결과치를 고려하여 일반적으로 다음의 4가지가 사용된다.

① 등 간격(equally spaced):

$$u_0 = 0 \quad u_n = 1$$

$$u_k = \frac{k}{n} \quad k = 1, \dots, n - 1$$

② 현 길이(chord length):

$$u_0 = 0 \quad u_n = 1$$

$$u_i = u_{i-1} + \frac{|Q_i - Q_{i-1}|}{\sum_{j=1}^{n-1} |Q_j - Q_{j-1}|}$$

③ 구심력 법(centripetal method):

$$u_0 = 0 \quad u_n = 1$$

$$u_i = u_{i-1} + \frac{|Q_i - Q_{i-1}|^{1/2}}{\sum_{j=1}^{n-1} |Q_j - Q_{j-1}|^{1/2}}$$

④ universal method:

$$u_i = R_{i,p}(u) \text{가 최대가 되는 } u \text{ 값}$$

NURBS 곡면의 보간은 첫 번째 매개변수를 사용하여 위 식들에 의한 각 조정점들을 구하고 이들을 다시 설계 데이터로 이용하여 두 번째 매개변수로 또 한번 위 식을 적용하여 최종 조정점들을 구한다. 이 때 매개변수의 값은 구해진 매개변수의 값들에서 평균값을 택한다.

$$Q_{k,l} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{i,j} R_{i,p}(u) R_{j,q}(v)$$

$$= \sum_{i=0}^m \left[\sum_{j=0}^n P_{i,j} R_{i,p}(v_l) \right] R_{j,q}(u_k)$$

$$= \sum_{i=0}^m C_i(v_l) R_{j,q}(u_k)$$

3. NURBS Skinning

전통적 방법의 스킨링은 모든 노트의 공통분모를 공통 노트 벡터로 사용해야 하기 때문에 선택에 적용하기에는 공통 노트(common knot)의 개수가 기하급수적으로 증가하는 문제가 있다. 예를 들면 선수부에 이를 이용한다면 u, v 양 방향 각각에 수

백 개의 노트가 쉽게 발생한다. 최근에 이 문제를 해결하는 새로운 방법이 제안되었는데 본 논문에서도 이 방법을 일부분에 적용한다(Woodward 1988, Piegl and Tiller 1995, 박형준등 2000).

실질적으로 노트 삽입 알고리즘의 수행은 조정점의 숫자를 늘려 NURBS 스키닝을 NURBS 곡면 보간 형태로 만든다. 즉 NURBS 곡면 보간을 매트릭스(matrix) 형태의 규칙배열 데이터에 대한 단순 보간이라면 스키닝은 불규칙배열 데이터를 포함하는 일반적인 보간이라고 말할 수 있다. 호환성작업이 불규칙배열 형태를 규칙배열로 바꾸어 준다 (Piegl and Tiller 1995, Boehm 1980).

다음은 본 연구에서 제안하는 선수부 모델링을 위한 절차에 대해 알아본다.

3.1 Data set 결정

선박설계에서 SIKOB에 의한 초기설계 후 설계 데이터는 Fig. 1에서 보여주는 바와 같다. Fig. 1은 실적선 설계데이터인 데 그 양이 많아서 그 중 일부분만을 나타내었다. 설계데이터는 선미부, 중앙평행부, 선수부를 중심으로 각 frame별 설계점들의 x-, y-, z-좌표가 나열되어 있으며, ship contour등을 나타낸다.

Fig. 2는 Fig. 1 데이터의 선수부만을 떼어내 나타냈다. Fig. 3는 Fig. 2의 데이터 중 선체가 존재하는 부분만을 나타낸 그림이다. Fig. 4는 Fig. 1에 있는 ship contour 데이터 중 선수부 데이터만을 추출하여 B-spline 보간한 곡선을 나타낸다. Fig. 5은 그 곡선의 곡률을 나타낸다. Fig. 6는 Fig. 4의 곡선에 각 수선(waterline)과의 교차점(intersection point)를 계산하여 각 수선의 마지막 설계점으로 보완하고, 또한 5개의 프레임과 보간 곡선과의 교차점을 0.0 수선으로 추가한 그림이다. 스키닝을 위한 데이터는 Fig. 6에 나타난 데이터를 사용한다.

3.2 u-방향 skinning

스키닝은 곡면 보간과 같이 양방향 보간이다. 곡면 보간과 다른점은 동일 노트 벡터를 위한 호환성

작업의 존재이다. 본 논문에서는 수선이 흘러가는 방향을 u 방향으로 한다. u 방향은 먼저 각 수선을 현길이비법(Chord-Length method)를 이용하여 각각의 B-spline 보간 곡선을 생성한 다음, 모든 곡선의 모든 노트를 포함하는 공통 노트 벡터를 결정하였다. Fig. 6에서 보여주는 데이터는 20개의 수선을 가지고 있으며 3차곡선의 생성을 위해 노트 수가 114개인 공통 노트 벡터를 가진다. 각각의

1	215	32.2	17.8	107.5
24	0	0		
\$	frame	space		
\$	11	42	242	
0.75	0.8	0.86	0.75	
\$	ship	contour		
\$	0	-4.5	2	19
1	0	-4.5	2	10.95
1	0	0	2	9.91
1	0	3.501	2	9
1	0	5.375	2	8.207
1	0	5.702	2	8
1	0	6.579	2	7
1	0	6.68	2	6
1	0	6.08	2	5
1	0	4.9	2	4.39
1	0	4.9	2	3.34
1	0	5.375	2	3.09
1	0	6.503	2	2
1	0	8.25	2	1

Fig. 1 offset data from SIKOB

\$fr	#252-255			
252	0	/0.884	1.613	2.694
3.466	4.033	4.416	4.561	4.417
3.983	3.341	2.796C		
2.456	2.351	2.521	2.964	3.661
4.548	5.524	6.522	7.528	8.543
9.563	10.592C			
253	0	/0.562	1.249	2.302
3.083	3.663	4.058	4.205	4.042
3.554C				
2.833	2.21	1.605	1.655	1.783
2.187	2.857	3.751	4.768	5.819
6.077C				
7.943	9.013	10.089	11.176	12.25
254	0	/0.252	0.898	1.914
2.701	3.296	3.701	3.849	3.669
3.13	2.339C			
1.641	1.167	0.968	1.042	1.386
2.009	2.89	3.94	5.044	6.159
7.719	8.908C			
8.401	9.531	10.669	11.794	

Fig. 2 Design data in forebody derived from Fig. 1

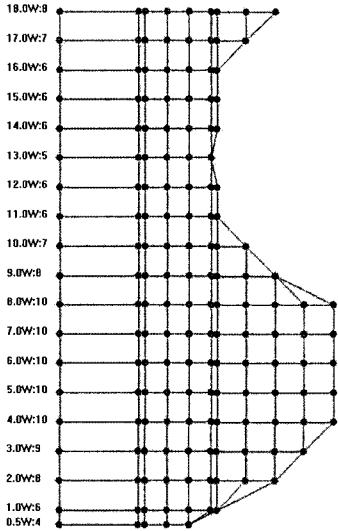


Fig. 3 Design data in forebody

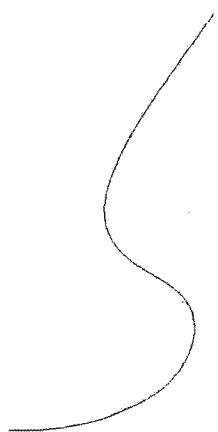


Fig. 4 Forebody profile line generated from interpolating the contour data

수선은 모자란 노트 개수 만큼의 노트 삼입 알고리즘을 통하여 조정점들의 숫자를 늘려 동일한 숫자의 조정점들을 계산한다.

Fig. 7는 한 수선의 공통 노트 벡터와 조정점들을 나타낸다. 노트의 구성에서 초기와 끝단이 4번씩 중첩되는 이유는 보간을 위해서 비주기적 노트 벡터를 사용하였기 때문이다. 밑 그림은 공통노트

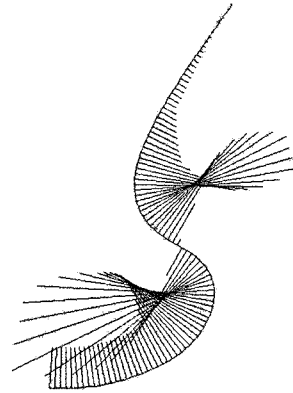


Fig. 5 Curvature plot of fig. 4 line

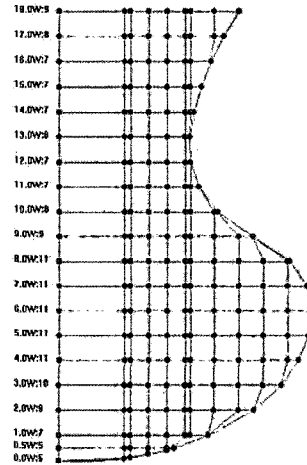


Fig. 6 Data for skinning

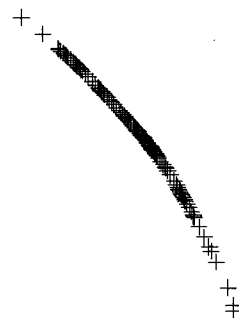


Fig. 7 Common knot and control points at 18-waterline

를 사용하여 조정점들을 계산하였을 때 18-waterline 부분을 한 예로 나타낸다.

0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.14070684	0.14309599
0.14519339	0.15108826	0.16073513
0.16661217	0.16703958	0.16714633
(종락)		
0.83285367	0.83296042	0.83338783
0.83926487	0.84891174	0.85480661
0.85690401	0.85929316	1.00000000
1.00000000	1.00000000	1.00000000

3.3 v -방향 skinning

v 파라미터 방향은 배의 높이방향 (z -방향)을 선택하였다. 보간을 위한 v 파라미터 결정에 등간격법을 기준한 universal method를 사용하였는데 수선의 간격이 거의 일정하여 거리에 기준을 둔 효과를 얻을 수 있었다. Universal method는 노트 값의 선택이 자유로와 모든 단면 곡선의 노트 값의 할당 방식을 등간격법과 같은 단순한 방식으로 동일하게 선택하면 공통 노트 벡터를 단순히 가장 숫자가 많은 노트 갯수를 갖는 단면 곡선의 노트 벡터로 대체할 수 있어 공통 노트 벡터의 노트 숫자를 기하급수적으로 줄일 수 있다. 예를 들면 본 논문 예의 v -방향 공통 노트 벡터의 노트 숫자는 24개이다. 만약 Pagle의 방법으로 계산하면 노트 벡터의 개수는 1827개 이다. 이는 본 논문의 예에서 보는 24개에 비해 75.8배 조정점 숫자를 가지게 되어 취급에 많은 문제점을 야기한다.

4. 실험

실험에서는 Fig. 6 데이터를 사용하였다. u -방향은 구심력법을 사용하여 초기 매개 변수값을 계산하였고, v -방향은 universal method를 사용하였다.

Fig. 8~9은 iso-parametric 선도를, Fig. 10~12은 선박설계의 전형적인 표현법에 의한 lines plan을 나타낸다.

“+”로 표시된 점들은 offset data상의 설계점을 나타낸다. 곡면보간이기 때문에 모든 설계점을 정확히 통과함이 당연하나 이해를 돕기위해 3 plan

에 첨가하여 표시하였다.

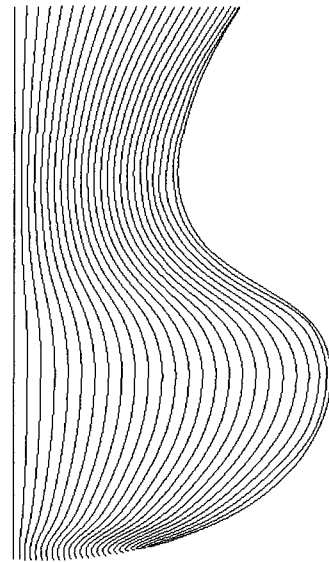


Fig. 8 Iso-parametric plan with u -constant at xz -plane

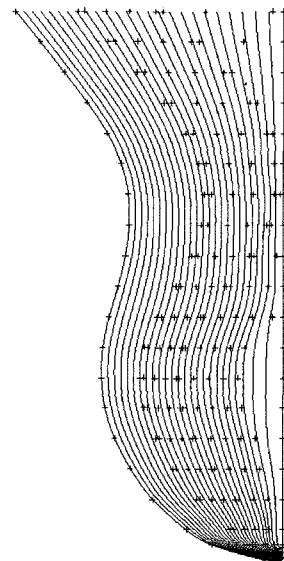


Fig. 9 Iso-parametric plan with u -constant at yz -plane

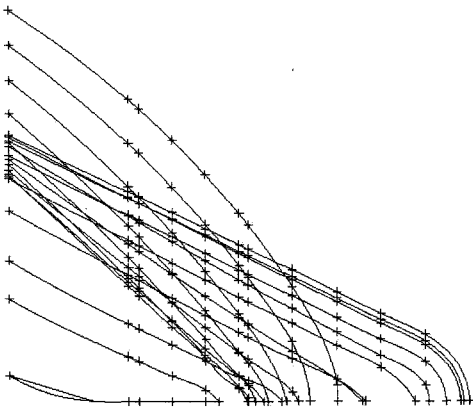


Fig. 10 Water line plan

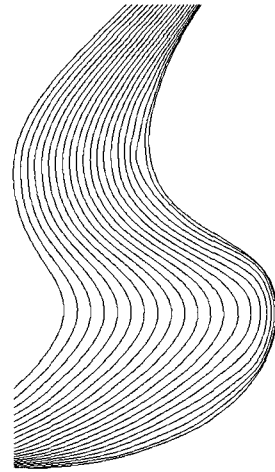


Fig. 12 Sheer plan

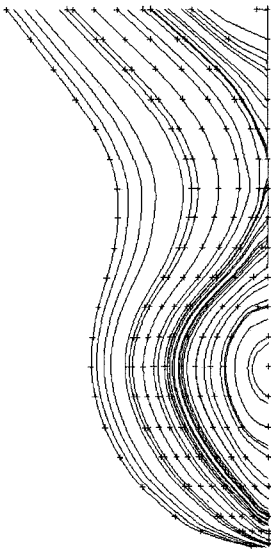


Fig. 11 Body plan

앞으로 많은 경우에 대한 실험과 개선에 대한 연구가 필요하나 어느 정도 신뢰할만한 선수부 곡면을 생성하였다고 할 수 있다. 선박의 초기설계 후 데이터는 Fig. 3에서 보는 것처럼 한 방향 규칙 배열 형태이므로 무분별하게 흩어져있는 불규칙 배열 데이터와 비교할 때 곡면 생성에 보간이 비교적 적합하고, 또한 스키닝은 한 방향을 불규칙 배열에

서 규칙 배열로 만들어주는 효과가 있으므로 특히 선박에 적합하다 할 수 있어 앞으로 선박에 많은 연구와 이용이 기대된다 하겠다. 실험으로 생성된 곡면은 바로 생산에 적용하기 위해서는 순정작업을 거치는 보완이 요구되나, 선수부 곡면을 exact 보간하는 single patch에 의한 표현을 가능하게 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 데이터들이 프레임 별로 불규칙적으로 분포하는 선수부의 경우를 대상으로 NURBS 스키닝을 하는 방법을 강구하였다. 데이터는 선박초기설계 소프트웨어 SIKOB에서 생성되었던 자료를 기초로 ship contour 점들을 보완하여 s 스키닝에 유리한 배열로 생성하였다. 차수는 입력 변수로서 하나의 차수를 선택하도록 하였고, 공통 노트 벡터를 위하여 노트 삽입 알고리즘을 사용하였다.

본 논문은 여러 방법들을 적용하여 선수부에 shape preserving 곡면을 one patch로 생성하는 프로세스를 제안하였으며, 실험을 통하여 이 제안이 한 방향 규칙 배열 데이터를 갖는 선수부에 적합하며 곡면 생성을 위하여 스키닝의 사용이 합리적

임을 증명하였다. 실험 결과는 순정(fairing) 작업을 거치지 않아 바로 생산에 적용할 수 있는 정도에는 미흡하지만 제안된 절차는 아직 개선될 수 있는 부분들이 많이 남아 있어 앞으로의 연구 결과에 따라 선수부 모델링 문제를 해결할 수 있는 좋은 방법으로 기대된다. 특히 데이터에 끝점 기울기를 보완하거나 노트 벡터의 나열을 바꾸는 등, 데이터 배치 결정의 보완으로 전체 실험 결과를 개선할 여지는 얼마든지 남아 있으며 앞으로 연구의 숙제라 하겠다.

후 기

본 연구는

a) 학술진흥재단의 지역대학우수과학자 과제(과제번호:R-05-2004-000-12617-0)

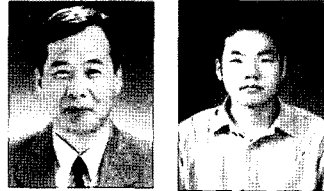
b) 2005년도 NURI사업

의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김동준, 1993, “형상계수에 의한 초기선형설계에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 30권, 제 2호, pp. 2024-2030.
- 김동준, 윤태경, 1994, “선형의 순정기법에 관한 기초 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 31권, 제 2호, pp. 15-21.
- 김수영, 우일국, 1992, “B-spline 곡면기법을 이용한 곡면형상 도출,” 대한조선학회 논문집, 제 29권, 제 3호, pp. 1-14.
- 박지선, 김동준, 1994, “GC1곡면을 이용한 선형의 표현,” 대한조선학회 논문집, 제 31권, 제 4호, pp. 32-40.
- 신현경, 박규원, 1991, “Open 균일 B-spline 곡면을 이용한 선체 곡면 표현에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 28권, 제 2호, pp. 21-27.
- 신현경, 박규원, 박호균, 김일환, 2000, “NURBS 곡면을 이용한 선체표현에 관한 연구 - 자유곡면 가공기계 개발 (1),” 대한조선학회 논문집, 제 37권, 제 2호, pp. 109-117.
- 윤병호, 서승완, 김원돈, 김광욱, 1985, “B-spline 을 이용한 선체 표면에 관한 연구,” 대한조선학회 지, 제 22권, 제 3호, pp. 19-26.
- 임중현, 이규열, 1997, “베지어 곡선모델(드카스텔조 알고리즘)을 이용한 곡면통합 모델링 기법,” 대한조선학회 논문집, 제 34권, 제 4호, pp. 127-138.
- 정형배, 1998, “NURBS Surface GlobalInterpolation 에 대한 한 방법:II,” 한국 CAD/CAM학회 논문집, pp243-250.
- Boehm, W., 1980, "Inserting New Knots into B-Spline Curves," CAD, Vol. 12, pp. 199-201.
- Jung, H.B. and Kim, K.S., 2001, "A New Parameterisation Method for NURBS Surface Interpolation," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, pp. 784-790.
- Lim, C.G., 1999, "A Universal Parameterization in B-Spline Curve and Surface Interpolation," Computer Aided Geometric Design, 16, pp. 407-422.
- Park, H.J., Kim, K.S. and Lee, S.C., 2000, "A Method for Approximate NURBS Curve Compatibility Based on Multiple Curve Refitting," Computer-Aided Design, 32 (4), pp. 237-252.
- Park, H.J., 2001, "An Approximate Lofting Approach for B-Spline Surface Fitting to Functional Surfaces," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18(7), pp. 474-482.
- Park, H.J., Jung, H.B. and Kim, K.S., 2004, "A New Approach for Lofted B-Spline Surface Interpolation to Serial Contour," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 23, pp. 889-895.
- Piegl, L. and Tiller, W., 1995, The NURBS Book, Springer, Berlin.

- Piegl, L. and Tiller, W., 1996, "Algorithm for Approximate NURBS Skinning," *Computer-Aided Design*, 28 (9), pp. 699-706.
- Piegl, L. and Tiller, W., 2000, "Reducing Control Points in Surface Interpolation," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 20, pp. 70-74.
- Piegl, L. and Tiller, W., 2002, "Surface Skinning Revisited," *Visual Computer*, 18, pp. 273-283.
- Woodward, C., 1988, "Skinning Techniques for Interactive B-Spline Surface Interpolation," *Computer-Aided Design*, 20 (8), pp. 441-451.



< 정형배 > < 김찬석 >