

40.5
261
72

공학석사 학위논문

범용 CAD Program에서의 응용을 위한
선형 곡면화 방법론에 관한 연구

지도교수 김 동 준



2003년 2월

부경대학교 대학원

조선해양시스템공학과

이 준 호

이 준 호의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월

주 심 공학박사 김 인 철 (인)

위 원 공학박사 김 용 직 (인)

위 원 공학박사 김 동 준



A Study on Surface Modeling of Hull forms for General purpose CAD Program

Dept. of Naval Architecture & Marine Systems Engineering **Joon-Ho Lee**

Directed by Professor **Dong-Joon Kim**

The generation of the faired hull form is the beginning of the ship design. If well faired lines are able to get at initial design stage, it will play an important role in reducing construction time. So the new program called "MIDAS" was developed to generate the final lines in a short term. The main abilities of MIDAS are expressing the hull forms by means of forming the 3D curve net through assembling the 2D curves and line fairing by cross fairing scheme.

The final step in hull form modeling is to define a surface model. A Specific CAD system for ship design, for example Tribon, has surface modeling scheme with 3D curve net for itself. But general purpose CAD program has to load surface model after surface modeling in other CAD program, because general purpose CAD program can't efficiently express extreme curvature object like bow and stern of ship by 3D curve net.

In this study surface modeling method with 3D curve net is proposed. For surface modeling, ship hull was divided into some compartments. Generated surface was transformed through IGES file format. And the quality of generated surface model was checked by CATIA, typical general CAD program. Lastly it is tried to find a method for improving the accuracy of surface connection by using the blending method in CATIA and analyze the result.

목 차

1	서론	
1.1	개요	1
1.2	연구배경 및 내용	2
2	곡선 및 곡면 이론	3
2.1	Bezier 곡선 및 곡면 식	3
2.2	B-spline 곡선 및 곡면 식	4
2.3	NUB(Non-Uniform B-spline) 곡면의 정의	5
3	곡선 및 곡면생성	6
3.1	NUB 곡선 생성	6
3.2	NUB 곡면 생성	9
3.3	Hermite 혼합(blending) Coons 면조각의 정의	12
4	제안된 선형 곡면화	20
4.1	개요	20
4.2	선미부 곡면화	20
4.3	선수부 곡면화	23
4.4	전체 형상의 곡면화 결과	34
5	범용 CAD program과의 연결	36
5.1	IGES(Initial Graphics Exchange Specification)	36

5.2	곡면의 CATIA Loading -----	36
5.3	빛의 반사를 이용한 곡면의 품질 분석 -----	38
5.4	CATIA 기능에 의한 곡면 접합도 분석 -----	41
5.5	CATIA 기능에 의한 곡면 접합 -----	46
5.6	자료점의 개수 증가에 따른 곡면 접합 -----	50
6	결 론 -----	51
7	참고문헌 -----	53

1. 서론

1.1 개요

선형 모델링에 있어 순정이 된 선형의 생성은 설계의 시작이자 모든 건조 단계의 기초가 된다. 그러므로 기본설계 단계에서 정도 높은 선형을 생성하여 상세 설계 시 작업량을 줄일 수 있다면 건조기간을 단축시키는 데 큰 역할을 하게 될 것이다. 현재 상용화된 선형 모델링 시스템들이 국내외의 조선 분야에서 사용되고 있으며 대표적인 시스템으로는 Kockums Computer System(KCS)의 Tribon 시스템에 속해 있는 Initial Design CAD 선형 모델링 시스템과, 핀란드의 NAPA 시스템 등이 있다.

이러한 상용 선형 모델링 프로그램들은 선형의 순정도면에서는 만족할 만한 결과를 보여주고 있으나 이를 얻어내기 위해서 선형 정의 시 많은 시행착오를 거쳐야 하고, 입력 정보를 작성하는데 어려움이 있는 등의 사용상 까다로운 점을 가지고 있다. 그리고 관련 연구 결과들도 상용화하기에는 순정도 및 시스템 차원에서 어려운 점이 많다(임중현, 1997).

이러한 배경으로 윤(1998)에 의해 설계 초기 단계에서부터 단기간에 정도 높은 외판 모델을 만들어 낼 수 있는 CAD 시스템이 UNIX 환경으로 개발되었고, 이를 바탕으로 박(2001)에 의해 PC Windows 환경 하에서 Visual C++ 언어와 MFC 라이브러리를 사용한 GUI기법으로 구현되어 단기간에 정도 높은 선형의 생성과 변환이 가능하게 되었다.

박에 의해서 구현된 시스템(이하 MIDAS라 칭함)의 주요한 기능은 스테이션(Station), 워터라인(Waterline), 버톡라인(Buttock line)과 같은 2차원 곡선의 집합으로써 3차원의 곡선망을 형성하여 선체 형상을 표현하고 순정된 선형을 얻기 위하여 교차순정(Cross Fairing)할 수 있는 기능이다.

교차순정 과정을 거친 후에 선형의 순정도를 확인하기 위한 방법으로 곡선망에

대한 곡면화가 요구되는데 이 곡면화 과정을 수행함으로써 선형의 순정도 평가 뿐 아니라 나아가 판부재 가공, 보강재 취부 등의 생산용 곡면 모델 구축에 기본 자료로서 활용가치가 높을 것이다.

1.2 연구배경 및 내용

국내의 대형 조선소에서는 설계와 생산 정보의 자동화를 위하여 조선 전용 3차원 CAD 시스템인 Tribon을 이용하고 있다. 선박의 3차원 곡선망에 대해서 Tribon 자체적으로 곡면을 생성함으로써 선체 외판과 직접 맞닿는 판부재나 보강재의 생산에 필요한 정보를 제공한다. 현재 MIDAS에 의해서 생성된 곡선망 정보를 Tribon에 적용할 경우 곡면화가 가능할 정도의 호환성을 가진다. 그러나 범용 CAD Program에서는 선박과 같은 심한 곡률을 가지는 경우에 대해 곡면화를 수행할 때 충분히 표현할 수 없는 한계를 가지고 있다. 그래서 MIDAS에서 곡면화 단계를 거쳐서 범용 CAD Program에 적용하는 과정이 필요하다.

이에 본 연구에서는 MIDAS와 범용 CAD 시스템과의 연계과정 중의 일부분으로 선박의 3차원 곡선망을 이용, 곡면을 생성하기 위한 방법론을 제안하였고, 대표적인 범용 CAD 시스템인 CATIA에서 그 정도를 확인하는 과정을 수행하였다. 이를 위해 곡선과 곡면을 정의할 수 있는 수학적 방법론들에 대해서 살펴보았다. 그리고 곡면을 생성할 때 생성된 곡면들간의 연속조건과 곡면들의 품질 측면에서 문제점과 제약 조건들에 대해서 고찰하였고, 문제점들에 대한 개선을 시도하였다.

2. 곡선 및 곡면이론

MIDAS에서는 곡선 및 곡면의 표현식으로는 NUB(Non-Uniform B-spline)가 이용되었고, 부분적으로 Bezier 곡선을 이용하여 곡면을 생성하였다. 이 장에서는 MIDAS에 기본적으로 적용된 곡선 및 곡면 식에 대한 정의를 소개하고 또한 각 면조각(Patch)들을 보간하여 곡면을 형성하는 방법론에 대하여 간단히 살펴볼 것이다.

2.1 Bezier 곡선 및 곡면 식

$n+1$ 개의 조절점을 혼합함으로써 n 차의 Bezier 곡선이 정의된다.

$$r(u) = \sum_{i=0}^n B_i^n(u) V_i$$

$$\text{여기서, } B_i^n(u) = \frac{n!}{(n-i)! i!} u^i (1-u)^{n-i}, \quad 0 \leq u \leq 1$$

V_i : 조절점

m, n 차 Bezier 곡면식은 다음과 같다(Choi, 1991).

$$r^{m,n}(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_i^m(u) B_j^n(v) V_{ij}$$

상용 CAD/CAM 시스템에서는 $m=n=5$ 혹은 $m=n=7$ 이 사용된다. $m=n=5$ 일 경우 Biquintic Bezier 면조각을 정의하기 위해서는 36개의 조절점이 필요하게 된다.

2.2 B-spline 곡선 및 곡면 식

B-spline곡선은 $n+1$ 개의 조절점과 기초함수(basis function)의 카테시안(Cartesian) 곱으로 정의된다(Choi, 1991)(Rogers, 1989).

$$r(u) = \sum_{i=1}^{n+1} V_i N_{i,k}(u), \quad u_{\min} \leq u \leq u_{\max}.$$

여기에서 V_i 는 곡선을 결정하기 위한 $n+1$ 개의 조절점이고, k 는 곡선의 차수(order)를 나타낸다. $N_{i,k}(u)$ 는 Cox-deBoor 순환식(recursion formula)으로 다음과 같이 정의된다.

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-x_i) N_{i,k-1}(u)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - u) N_{i+1,k-1}(u)}{x_{i+k} - x_{i+1}}$$

$$\text{여기서, } N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_i \leq x_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

x_i 는 $x_i \leq x_{i+1}$ 로 정의된 $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ 노트벡터(knot vector)의 요소이며, u 는 곡선 $r(u)$ 를 따라 $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ 로 변한다.

B-spline곡면은 곡선정의와 유사하다. 곡면상의 u, v 매개곡선을 형성하며 다음 식으로 표현된다(Choi, 1991)(Rogers, 1989).

$$r(u, v) = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} V_{ij} N_{i,k}(u) M_{j,l}(v)$$

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}, \quad v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$$

여기서 $r(u, v)$ 는 곡면 위의 점이고, V_{ij} 는 곡면을 결정하기 위한 조절점이다.
 N 과 M 은 각각 u, v 방향의 기초함수가 된다.

2.3 NUB(Non-Uniform B-spline) 곡면의 정의

매트릭스형태로 NUB 곡선을 표현하면 다음과 같다(Choi, 1991).

$$r^i(u) = UN_c^i V^i; \quad 0 \leq u \leq 1; \quad i=0, 1, \dots, n-1$$

여기서,

$$U = [1 \quad u \quad u^2 \quad u^3],$$

$$V^i = [V_i \quad V_{i+1} \quad V_{i+2} \quad V_{i+3}]^T,$$

$$N_c^i = \begin{bmatrix} \frac{(\nabla_i)^2}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-2}^3} & (1 - n_{11} - n_{13}) & \frac{(\nabla_{i-1})^2}{\nabla_{i-1}^3 \nabla_{i-1}^2} & 0 \\ -3n_{11} & (3n_{11} - n_{23}) & \frac{3\nabla_i \nabla_{i-1}}{\nabla_{i-1}^3 \nabla_{i-1}^2} & 0 \\ 3n_{11} & -(3n_{11} + n_{33}) & \frac{3(\nabla_i)^2}{\nabla_{i-1}^3 \nabla_{i-1}^2} & 0 \\ -n_{11} & (n_{11} - n_{43} - n_{44}) & n_{43} & \frac{(\nabla_i)^2}{\nabla_i^3 \nabla_i^2} \end{bmatrix}$$

$$n_{43} = -\left\{ \frac{1}{3} n_{33} + n_{44} + (\nabla_i)^2 / (\nabla_i^2 \nabla_{i-1}^3) \right\},$$

$$\nabla_i^k = \nabla_i + \nabla_{i+1} + \dots + \nabla_{i+k-1}.$$

여기서 V_i 는 조절점이고 ∇_i 는 노트간격(knot span)이다.

NUB 곡면은 곡선과 유사하게 다음과 같이 정의된다(Choi, 1991).

$$r^{\ddot{u}}(u, v) = U N_s B^{\ddot{u}} N_t^T V^T$$

$$\text{여기서, } U = [1 \ u \ u^2 \ u^3], \quad V = [1 \ v \ v^2 \ v^3],$$

$$B^{\ddot{u}} = \begin{bmatrix} V_{i,j} & V_{i,j+1} & V_{i,j+2} & V_{i,j+3} \\ V_{i+1,j} & V_{i+1,j+1} & V_{i+1,j+2} & V_{i+1,j+3} \\ V_{i+2,j} & V_{i+2,j+1} & V_{i+2,j+2} & V_{i+2,j+3} \\ V_{i+3,j} & V_{i+3,j+1} & V_{i+3,j+2} & V_{i+3,j+3} \end{bmatrix}$$

여기서 N_s, N_t 는 각각 u 방향의 노트간격 Δ_i 인 u 와 v 방향의 노트간격 ∇_j 를 곡선식의 매트릭스 N_c 에 대체했을 때의 매트릭스다.

3. 곡선 및 곡면생성

곡선의 생성은 주어진 자료점(data point)들을 통과하는 스플라인 곡선을 곡선보간법을 통해 수식으로 표현하는 작업이다. 같은 자료점이라도 보간법을 달리 하면 다른 곡선이 된다.

3.1 NUB 곡선 생성

2.3에서 정의된 NUB 곡선을 생성하기 위한 첫 번째 단계는 노트간격 $\{\nabla_j\}$ 를 결정하는 것이다. 노트간격 $\{\nabla_j\}$ 는 정규노트간격 $\{\nabla_0, \dots, \nabla_{n-1}\}$ 과 확장(extended) 노트간격으로 나누어진다. 여기서 정규노트간격은 현길이근사(chord-length approximation)를 이용하여 구할 수 있고, 확장노트간격은 다중노트를 정의하여 사용한다. 현길이근사는 주어진 자료점 P_i, P_{i+1} 을 이용하여 다음과 같이 나타낸다(Choi, 1991).

$$\nabla_i = |P_{i+1} - P_i| \text{ for } i=0, 1, \dots, n-1$$

확장 노트간격은 다중 노트표현식으로 다음과 같이 나타난다.

$$\nabla_{-2} = \nabla_{-1} = \nabla_0 ,$$

$$\nabla_{n+1} = \nabla_n = \nabla_{n-1}$$

다음 단계는 미지 조절점에 대한 선형연립방정식을 구성하는 것이다.

자료점 P_i , P_{i+1} 사이의 곡선 선분 $r^i(u)$ 는 다음의 관계가 성립한다.

$$r^i(0) = P_i , r^i(1) = P_{i+1} , (i=0, \dots, n-1)$$

위의 관계식을 2.3절의 NUB 곡선식에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

$$f_i V_i + h_i V_{i+1} + g_i V_{i+2} = P_i \quad (i=0, 1, \dots, n)$$

$$\text{여기서, } h_i = (1 - f_i - g_i)$$

$$, f_i = (\nabla_i)^2 / (\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-2}^3)$$

$$, g_i = (\nabla_{i-1})^2 / (\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3)$$

곡선의 양 끝점에서 미분으로 접선벡터를 구하면 다음과 같은 선형방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}\hat{t}_0 &\equiv \dot{r}^0(0) \\ &= a_0 V_2 + (b_0 - a_0) V_1 - b_0 V_0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{여기서, } a_0 &= 3(\nabla_0 \nabla_{-1}) / (\nabla_{-1}^2 \nabla_{-1}^3), \\ , b_0 &= 3(\nabla_0)^2 / (\nabla_{-1}^2 \nabla_{-2}^3).\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{t}_n &= \dot{r}^{n-1}(1) \\ &= a_1 V_{n+2} + (b_1 - a_1) V_{n+1} - b_1 V_n\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{여기서, } a_1 &= 3(\nabla_{n-1})^2 / (\nabla_{n-1}^2 \nabla_{n-1}^3) \\ , b_1 &= 3(\nabla_n \nabla_{n-1}) / (\nabla_{n-1}^2 \nabla_{n-2}^3).\end{aligned}$$

확장노트를 적용하여 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}f_0 &= 1 ; g_0 = 0, \\ f_n &= 0 ; g_n = 1, \\ a_0 &= 0 ; b_0 = 3, \\ a_1 &= 3 ; b_1 = 0.\end{aligned}$$

따라서 최종적으로 NUB 곡선 생성을 위한 선형연립방정식은 다음과 같이 구성이 되고, 방정식의 해를 구하여 미지 조절점을 쉽게 결정할 수 있다.

곡면은 $(m+1) \times (n+1)$ 개의 공유점(mesh points) $\{P_{ij}\}$ 와 u, v 방향의 교차경계접선벡터 $s_{0,j}, \hat{s}_{m,j}$ ($j=0, \dots, n$), $\hat{t}_{i,0}, \hat{t}_{i,n}$ ($i=0, \dots, m$), 그리고 모서리공유점(corner mesh points)에서의 비틀림벡터 $\hat{x}_{00}, \hat{x}_{m0}, \hat{x}_{0n}, \hat{x}_{mn}$ 이 주어지면, 다음의 네 단계를 거쳐 생성된다(Choi, 1991).

1) 노트간격의 결정

현길이근사를 이용하여 u, v 방향의 정규노트간격과 확장노트간격을 다음과 같이 구한다.

$$\Delta_i = \sum_{j=0}^n |P_{i+1,j} - P_{i,j}| \quad \text{for } i=0, 1, \dots, m-1,$$

$$\nabla_j = \sum_{i=0}^m |P_{i,j+1} - P_{i,j}| \quad \text{for } j=0, 1, \dots, n-1.$$

$$\Delta_{-2} = \Delta_{-1} = 0, \quad \Delta_{m+1} = \Delta_m = \Delta_{m-1}$$

$$\Delta_{-2} = \Delta_{-1} = 0, \quad \Delta_{n+1} = \Delta_n = \Delta_{n-1}.$$

2) 중간조절점의 결정

중간조절점 $\{C_{ij}\}$ 는 자료점의 각 열(column) j 에 대해 NUB곡선을 생성하는 것을 말한다. 즉 자료점 $\{P_{i(j)} : i=0, 1, \dots, m\}$ 와 경계접선벡터 $\hat{s}_{0(j)}, \hat{s}_{m(j)}$ 로 구성되는 선형연립방정식에 의해 구해진다.

$$\begin{bmatrix} -3 & 3 & 0 & 0 \\ f_0 & (1-f_0-g_0) & g_0 & 0 \\ & & & \cdot \\ & & & \cdot \\ & & f_m & (1-f_m-g_m) & g_m \\ 0 & & -3 & & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{0,j} \\ C_{1,j} \\ \vdots \\ C_{m+1,j} \\ C_{m+2,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{S}_{0,j} \\ P_{0,j} \\ \vdots \\ P_{m,j} \\ \hat{S}_{m,j} \end{bmatrix}$$

여기서, $f_i = (\Delta_i)^2 / (\Delta_{i-1}^2 \Delta_{i-2}^3)$

, $g_i = (\Delta_{i-1})^2 / (\Delta_{i-1}^2 \Delta_{i-1}^3)$ for $i=0, \dots, m$.

3) 경계벡터의 결정

경계접선벡터 $\{\hat{t}_{i,0}, \hat{t}_{i,n} : i=0, \dots, m\}$ 와 모서리 비틀림벡터를 이용하여 경계벡터 $d_i, e_i (i=0, \dots, m+2)$ 를 구한다.

$$d_i = 3(V_{i,1} - V_{i,0}),$$

$$e_i = 3(V_{i,n+2} - V_{i,n+1}).$$

V 방향의 교차경계접선벡터는 V 방향 도함수에 의하여 다음과 같이 얻어진다.

$$t_{i,0} = \frac{\partial}{\partial v} r^{i,0}(0,0), \quad t_{i,n} = \frac{\partial}{\partial v} r^{i,n-1}(0,1).$$

따라서, 다음과 같은 선형연립방정식이 구성된다.

$$f_i d_i + (1-f_i-g_i)d_{i+1} + g_i d_{i+2} = \hat{t}_{i,0} ; \text{ for } i=0, \dots, m$$

$$f_i e_i + (1-f_i-g_i)e_{i+1} + g_i e_{i+2} = \hat{t}_{i,n} ; \text{ for } i=0, \dots, m.$$

모서리에서 교차 도함수를 계산하여 다음의 관계식을 얻는다.

$$3(d_1 - d_0) = \hat{x}_{00} ; 3(d_{m+2} - d_{m+1}) = \hat{x}_{m0}$$

$$3(e_1 - e_0) = \hat{x}_{0n} ; 3(e_{m+2} - e_{m+1}) = \hat{x}_{mn}.$$

위의 선형연립방정식을 통해 경계벡터 $d_i, e_i (i=0, \dots, m+2)$ 를 결정한다.

4) 조절점의 결정

중간조절점의 각 행(row) i 에 대한 조절점 $\{V_{ij}\}$ 을 구한다. 조절점 $\{V_{ij}\}$ 은 중간조절점과 경계벡터를 이용하여 최종적으로 다음과 같은 선형연립방정식을 각 행에 계산하여 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} -3 & 3 & 0 & 0 \\ f_0 & (1-f_0-g_0) & g_0 & 0 \\ & & & \ddots \\ & & f_n & (1-f_n-g_n) & g_n \\ 0 & & -3 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{i,0} \\ V_{i,1} \\ \vdots \\ V_{i,n+1} \\ V_{i,n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_i \\ C_{i,0} \\ \vdots \\ C_{i,n} \\ e_i \end{bmatrix}$$

3.3 Hermite 혼합(blending) Coons 면조각의 정의

사각형 곡면 조각 $r(u, v)$ 는 네 개의 경계곡선에 의해 경계된다(Choi, 1991).

경계조건

$$r(i, v) = a_i(v) \quad : \quad i = 0, 1$$

$$r(u, j) = b_j(u) \quad : \quad j = 0, 1$$

면조각의 모서리점(Corner Point)은

$$P_{ij} = r(i, j) \quad : \quad i, j = 0, 1$$

$r_1(u, v)$ 과 $r_2(u, v)$ 는 경계조건을 만족하는 Ruled 곡면이라 하면

$$r_1(u, v) = (1-u) a_0(v) + u a_1(v)$$

$$r_2(u, v) = (1-u) b_0(v) + v b_1(u)$$

곡면조각 $r(u, v)$ 는

$$r(u, v) = r_1(u, v) + r_2(u, v) - r_3(u, v)$$

여기에서 $r_3(u, v)$ 를 수정곡면(Correction Surface) 라 한다. 수정곡면 $r_3(u, v)$ 를 계산하기 위해서 $u=0$ 에서의 경계조건으로부터

$$\begin{aligned} a_0(v) &\equiv r(0, v) \\ &= r_1(0, v) + r_2(0, v) - r_3(0, v) \\ &= \{a_0(v)\} + \{(1-v)b_0(0) + v b_1(0)\} - r_3(0, v) \end{aligned}$$

$u=1$ 에서 경계조건은

$$\begin{aligned} a_0(v) &\equiv r(1, v) \\ &= r_1(1, v) + r_2(1, v) - r_3(1, v) \\ &= \{a_1(v)\} + \{(1-v)b_0(1) + v b_1(1)\} - r_3(1, v) \end{aligned}$$

$u=0, 1$ 에서의 수정곡면의 경계값은

$$\begin{aligned} r_3(0, v) &= (1-v) b_0(0) + v b_1(0) \\ &= (1-v) P_{00} + v P_{01} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_3(1, v) &= (1-v) b_0(1) + v b_1(1) \\ &= (1-v) P_{10} + v P_{11} \end{aligned}$$

수정곡면 $r_3(u, v)$ 는 두 경계곡선의 선형 혼합으로 정의되므로

$$\begin{aligned} r_3(u, v) &= (1-u) r_3(0, v) + u r_3(1, v) \\ &= (1-u)(1-v) P_{00} + (1-u)v P_{01} + u(1-v) P_{10} + uv P_{11} \end{aligned}$$

그러므로 수정곡면 $r_3(u, v)$ 는 네 모서리점에서의 선형혼합으로써 정의된다.

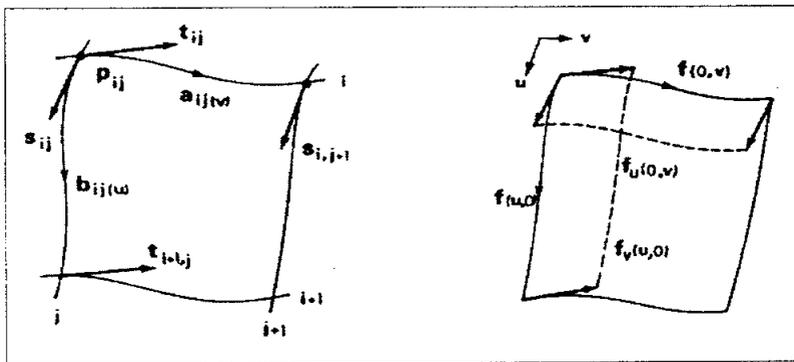


Fig 3.1 Estimation of Cross-Boundary Tangent function

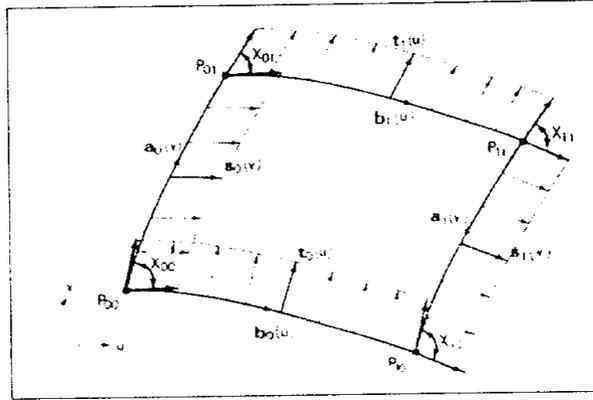


Fig 3.2 Hermite blended Coons Patch

Fig 3.1에서 $s_i(v)$ 와 $t_i(u)$ 가 각각 경계곡선 $a_i(v)$ 와 $b_i(u)$ 을 따라가는 교차경계 접선을 나타낸다고 하자. 마주보는 경계곡선 $a_0(v)$, $a_1(v)$ 와 교차경계접선 $s_0(v)$, $s_1(v)$ 를 가지고 Hermite 혼합 Lofted 곡면이 표현된다.

$$r_1(u, v) = a_0(u) a_0(v) + a_1(u) a_1(v) + \beta_0(u) s_0(v) + \beta_1(u) s_1(v)$$

Where, $a_0(u) = H_0^3(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)$

$$\beta_0(u) = H_1^3(u) = (u - 2u^2 + u^3)$$

$$\beta_1(u) = H_2^3(u) = (-u^2 + u^3)$$

$$\beta_3(u) = H_3^3(u) = (3u^2 + 2u^3)$$

유사한 방법으로 교차경계접선 $t_0(u)$, $t_1(u)$ 와 마주보는 경계곡선 $b_0(u)$, $b_1(u)$ 로부터 다른 하나의 Lofted 곡면이 얻어진다.

$$r_2(u, v) = a_0(v) b_0(u) + a_1(v) b_1(u) + \beta_0(v) t_0(u) + \beta_1(v) t_1(u)$$

$r_3(u, v)$ 는 수정곡면이다. x_{ij} 는 다음과 같은 면조각 모서리(Patch Corner)에서의 비틀림벡터로 표시된다고 하자. ($i, j = 0, 1$ 에 대하여)

$$\begin{aligned} x_{ij} &= \partial^2 r(u, v) / \partial u \partial v \Big|_{u=i, v=j} \\ &= \partial s_i(v) / \partial v \Big|_{v=j} \\ x_{ij} &= \partial^2 r(u, v) / \partial v \partial u \Big|_{u=i, v=j} \\ &= \partial t_i(u) / \partial u \Big|_{u=i} \end{aligned}$$

$$r_3(u, v) = [\alpha_0(u) \ \alpha_1(u) \ \beta_0(u) \ \beta_1(u)] \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & t_0(0) & t_1(0) \\ P_{10} & P_{11} & t_0(1) & t_1(1) \\ s_0(0) & s_0(1) & x_{00} & x_{01} \\ s_1(0) & s_1(1) & x_{10} & x_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \beta_0(v) \\ \beta_1(v) \end{bmatrix}$$

위를 식을 가지고 다음과 같이 선형 혼합방정식으로 표현함으로써 Cubic Hermite 혼합 Coons 면조각이 얻어진다.

$$r(u, v) = r_1(u, v) + r_2(u, v) - r_3(u, v)$$

$$= [\alpha_0(u) \ \alpha_1(u) \ \beta_0(u) \ \beta_1(u)] \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ s_0(v) \\ s_1(v) \end{bmatrix}$$

$$+ [b_0(u) \ b_1(u) \ t_0(u) \ t_1(u)] \begin{bmatrix} \alpha_0(u) \\ \alpha_1(u) \\ \beta_0(u) \\ \beta_1(u) \end{bmatrix}$$

$$- [\alpha_0(u) \ \alpha_1(u) \ \beta_0(u) \ \beta_1(u)] \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & t_0(0) & t_1(0) \\ P_{10} & P_{11} & t_0(1) & t_1(1) \\ s_0(0) & s_0(1) & x_{00} & x_{01} \\ s_1(0) & s_1(1) & x_{10} & x_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \beta_0(v) \\ \beta_1(v) \end{bmatrix}$$

Where,

$$\alpha_0(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)$$

$$\beta_0(u) = (u - 2u^2 + u^3)$$

$$\beta_1(u) = (-u^2 + u^3)$$

$$\beta_0(u) = (3u^2 + 2u^3)$$

$a_i(v), b_j(u)$: boundary curve

P_{ij}, x_{ij} : position and twist vectors at patch corners

Fig3.1에서 s_{ij} 와 t_{ij} 가 각각 공유점 P_{ij} 에서 u 방향과 v 방향 접선을 나타낸다고 하자. 공유점을 추정하는 방법은 P_{ij} 에서 공유곡선의 끝점선의 평균을 구하는 것이다. 즉

$$s_{ij} = \{ b'_{ij}(0) + b'_{i-1,j}(1) \} / 2$$

$$t_{ij} = \{ a'_{ij}(0) + a'_{i,j-1}(1) \} / 2$$

$$\text{Where } a'_{ij}(0) \equiv \partial a_{ij}(v) / \partial v |_{v=0}$$

$$b'_{ij}(0) \equiv \partial b_{ij}(u) / \partial u |_{u=0}$$

두 개의 공유점 접선의 Hermite 혼합함으로써 교차경계접선을 결정할 수 있다.

$$s_{ij}(v) = \alpha(v) s_{ij} + \beta(v) s_{i,j+1}$$

$$T_{ij}(u) = \alpha(u) t_{ij} + \beta(u) t_{i+1,j}$$

여기에서 $\alpha(t), \beta(t)$ 는 Hermite 혼합함수 이다.

면조각의 네 점을 따라서 교차경계접선을 나타내면

$$\begin{aligned}
f_u(0, v) &\equiv s_{ij}(v) \\
f_u(1, v) &\equiv s_{i+1, j}(v) \\
f_u(u, 0) &\equiv t_{ij}(u) \\
f_u(u, 1) &\equiv t_{i, j+1}(u)
\end{aligned}$$

Hermite 혼합함수 정의로부터 끝점에서의 두 번 미분값은 zero를 가지므로 공유 교차점에서의 비틀림벡터는 0이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
f_{uv}(0, 0) &= \partial f_u(0, v) / \partial v |_{v=0} \\
&= \alpha'(0)s_{ij} + \beta'(0)s_{i, j+1} = 0, \text{ etc.}
\end{aligned}$$

그러므로 Fig 3.1에서 사각형 영역에 대한 Hermite 혼합 Coons 면조각은 다음과 같이 정의된다.

$$r(u, v) = r_1(u, v) + r_2(u, v) - r_3(u, v)$$

$$r_1(u, v) = [\alpha(u) \ \beta(u) \ \gamma(u) \ \delta(u)] \begin{bmatrix} f(0, v) \\ f(1, v) \\ f_u(0, v) \\ f_u(1, v) \end{bmatrix}$$

$$r_2(u, v) = [f(u, 0) \ f(u, 1) \ f_v(u, 0) \ f_v(u, 1)] \begin{bmatrix} \alpha(v) \\ \beta(v) \\ \gamma(v) \\ \delta(v) \end{bmatrix}$$

$$r_3(u, v) = [\alpha(u) \ \beta(u) \ \gamma(u) \ \delta(u)] \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & f_v(0, 0) & f_v(0, 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & f_v(1, 0) & f_v(1, 1) \\ f_u(0, 0) & f_u(0, 1) & 0 & 0 \\ f_u(1, 0) & f_u(1, 1) & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha(v) \\ \beta(v) \\ \gamma(v) \\ \delta(v) \end{bmatrix}$$

Where, $\alpha(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)$

$$\beta(u) = (u - 2u^2 + u^3)$$

$$\gamma(u) = (-u^2 + u^3)$$

$$\delta(u) = (3u^2 + 2u^3)$$

$f(i, v), f(u, j)$ for $i, j = 0, 1$: *boundary curves*

$f_u(i, v), f_v(u, j)$ for $i, j = 0, 1$: *cross - boundary tangent*

4. 제안된 선형 곡면화

4.1 개요

선박의 3차원 곡선망에 NUB 곡면을 적용하기 위해서는 선수미부 등의 심한 곡률을 충분히 표현할 수 있을 만 한 크기의 구획을 나누는 과정이 필요하다. 이를 위해서 Fig 4.1과 같이 Bulb를 제외하고 선박을 6개의 구획으로 나누었다. 편평한 중앙 평행부에 비해 곡률이 심한 선미부에 대해서는 상대적으로 많은 개수의 구획을 설정하고 각각 다른 기준으로 내부 자료점을 생성하였다.

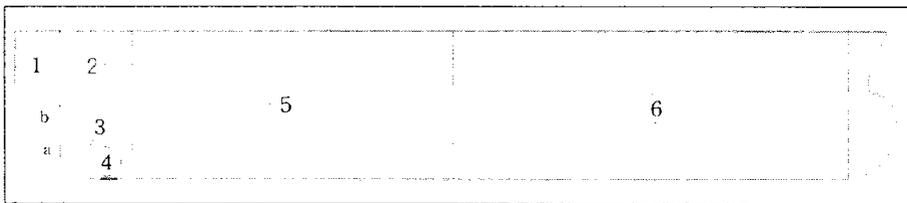


Fig 4.1 Hull division for surface modeling

4.2 선미부 곡면화

4.2.1 선미부 곡면화

Fig 4.1의 ①번 구획에서 내부 자료점을 생성하기 위하여 선박의 길이 방향으로 스테이션을 일정 간격(1m)으로 생성하여 생성된 스테이션 상에 정해진 자료점의 개수(80개)를 등간격으로 분포시켰다. 이렇게 정의된 자료점들을 이용, NUB 곡면 생성 방법을 통해 NUB 곡면을 피팅하였다. ②번 구획을 제외한 나머지 구획에서 위와 같은 방법으로 NUB 곡면을 생성하게 된다. ②번 구획의 경우 선박의 수직 방향으로 워터라인을 일정간격(0.2m)으로 생성하여 생성된 워터라인 상에 정해진 자료점의 개수(80개)를 등간격으로 분포시켜 NUB 곡면을 생성하게 된다.

Fig 4.2는 선미부분에서 구획별 자료점 정의를 위해 스테이션 혹은 워터라인을 생성한 예를 보이고 있다.

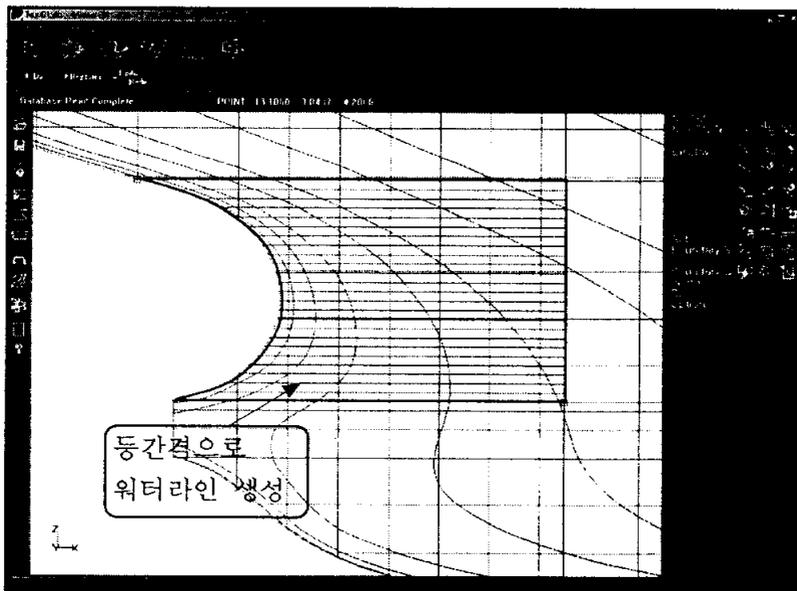
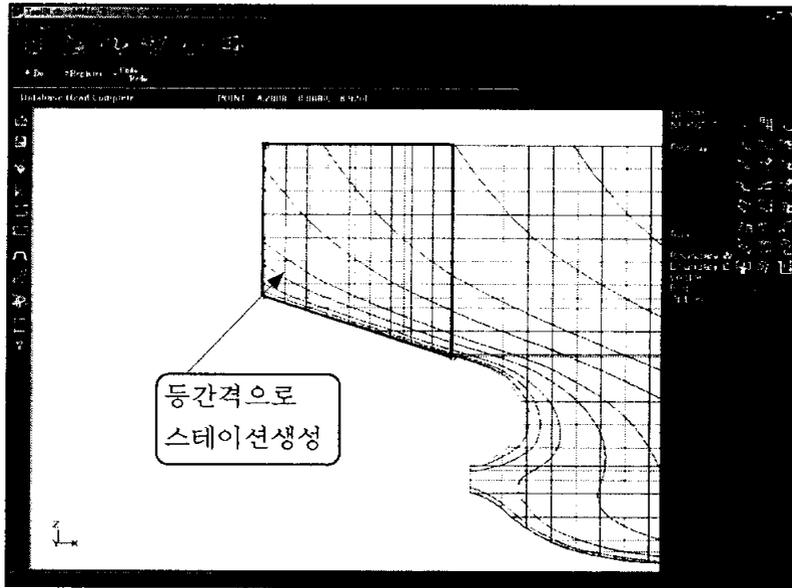


Fig 4.2 Internal compartment division at regular intervals

4.2.2 사용된 곡면화 방법 (NUB 곡면 피팅)

이 장에서는 구획별 곡면화를 위해 NUB 곡면을 피팅(Fitting) 방법을 소개할 것이다. 곡면 피팅은 주어진 자료점에서 조절점을 구해내는 작업이다.

$(m+1) \times (n+1)$ 개의 공유점 $\{P_{ij}\}$ 와 u, v 방향의 교차경계접선벡터 $s_{0,j}, \hat{s}_{m,j}$ ($j=0, \dots, n$), $\hat{t}_{i,0}, \hat{t}_{i,n}$ ($i=0, \dots, m$), 그리고 모서리 공유점 (corner mesh points)에서의 비틀림벡터 $\hat{x}_{00}, \hat{x}_{m0}, \hat{x}_{0n}, \hat{x}_{mn}$ 이 주어지면 3.2절에서 설명한 방법을 거쳐 NUB 곡면이 생성된다. 즉 곡면 상에서 시작벡터 (Start vector)와 끝벡터(end vector)가 존재하기 위해서는 Fig 4.3과 같이 u 방향과 v 방향 각각의 경계곡선상의 자료점 개수가 같아야만 한다.

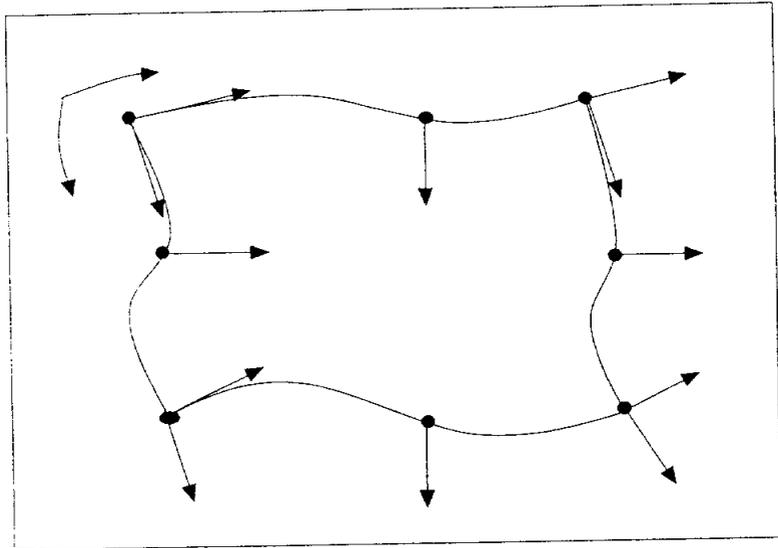


Fig 4.3 NUB Surface generation

4.2.3 구획에 의한 곡면화 결과

Bulb를 제외한 6개의 구획으로 NUB곡면을 구성한 모습을 Fig 4.4에 나타내었다.

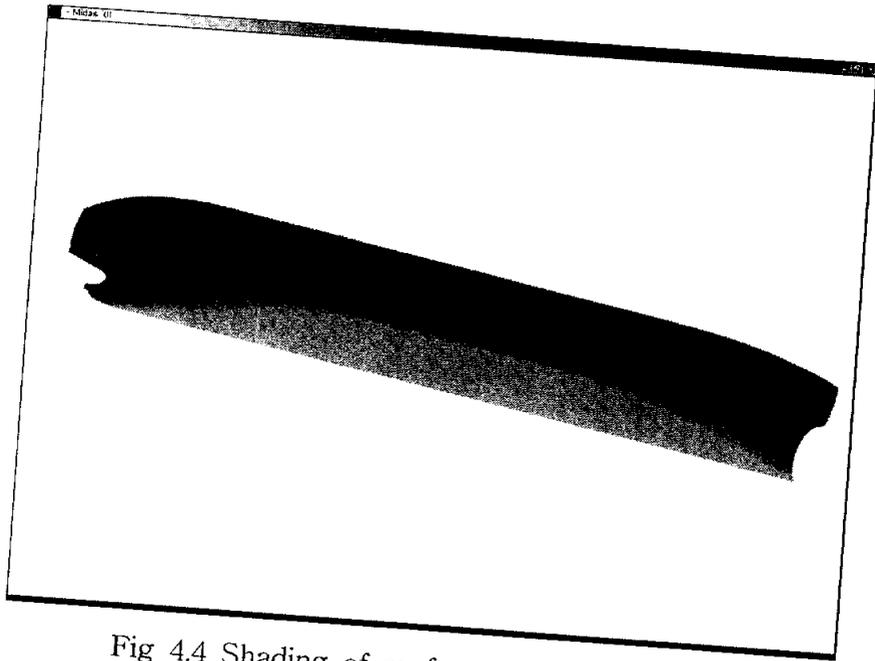


Fig 4.4 Shading of surface modeling by part

위와 같은 방법으로 Bulb를 제외한 6개의 각 구획에 대하여 6개의 NUB 곡면을 생성하였다. Bulb의 경우 스테이션 혹은 워터라인 만을 가지고 NUB 곡면을 구성할 경우 곡면 품질 등의 문제가 발생하였다. 그래서 Hermite Coons 면조각 생성방법을 이용하여 근사적으로 NUB 곡면을 구성하는 방법을 제안하였다.

4.3 선수부 곡면화

4.3.1 Bulb의 곡면화

Bulb 부분의 곡면을 정의하기 위해서는 사각형 형태로의 전환이 필요하다. 그래서 Bulb 부분의 시작 스테이션을 기준으로 5° 간격으로 교차시켜 격자를 구성하였다. Fig 4.5는 Bulb 부분을 격자로 구성한 모습이다.

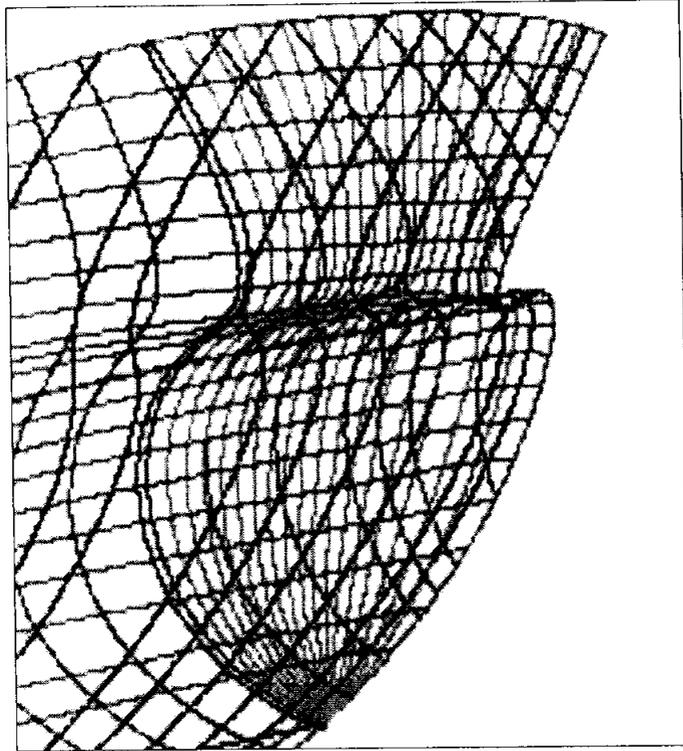
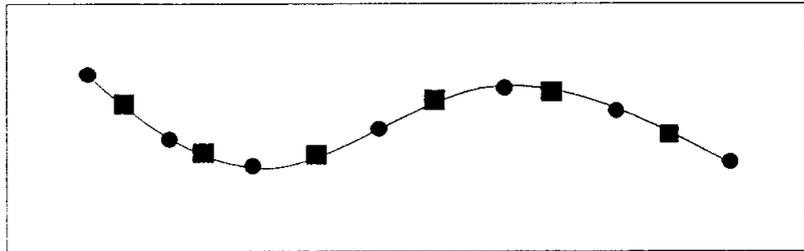


Fig 4.5 Intersection of bulb

4.3.2 사용된 곡면화 방법 I (사각형 면조각 NUB 곡면 근사 피팅)

경계곡선에 부가적인 점이 존재할 경우 자료점의 개수를 같게 하기 위하여 마주보는 경계곡선 상에 추가로 점을 생성하게 된다면 그 추가적인 점들의 위치에 대한 고려가 필요하고 추가적인 점으로 인해 곡선의 형상이 바뀌게 되므로 다음과 같은 방법으로 자료점을 정렬하는 과정이 필요하다. 다음에서는 각 면조각의 경계곡선 상에서 서로 마주보는 곡선간 자료점의 수를 일치시키기 위해 사용된 방법론을 설명할 것이다.

4.3.2.1 자료점 정렬



● : 산출점
 ■ : 오차허용도(Tolerance) 확인점

Fig 4.8 Setting and check of tolerance

Fig 4.8에서와 같이 산출점으로 생성된 곡선 상에서 각 산출점 사이 거리의 1/2 지점에 오차허용도 확인점(Tolerance Check Point)을 설정한다. 그리고 각 확인점에서 원래의 곡선과 비교하여 최소거리가 오차허용도 값 이내이면 인정한다. Intersection과 최소거리 계산 등의 모든 계산오차와 동일한 오차 값을 부여하기 위하여 오차 허용도를 $1.0 e^{-4}$ 으로 두었다.

(3) 위의 과정의 반복

원래의 경계곡선에 포함된 자료점을 등간격으로 분포시켜 초기 곡선을 생성하고 정확도를 확인한다. 초기 곡선 확인점에서의 결과가 원래 곡선과의 오차 허용도를 초과할 경우에는 산출점의 개수에서 1개를 더 추가시킨다. 그리고 등간격으로 분포시켜 생성된 곡선에 대해서 다시 정확도를 확인한다. 위의 과정을 오차허용도가 만족할 때까지 점의 개수를 1개씩 늘려가며 반복해서 수행하게 된다.

4.3.2.2 산출점 개수 일치

각 면조각의 경계곡선 상에 오차허용도를 만족하는 산출점이 정의되었다. 그런데 면조각에서 각 방향 별 경계곡선의 곡선식이 서로 일치하지 않으므로 Fig 4.9와

같이 곡선의 형상을 유지하기 위한 산출점의 최소 필요 개수가 달라지게 된다.

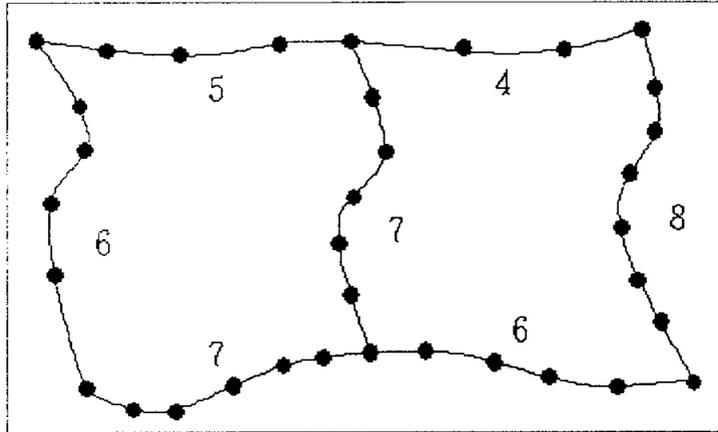


Fig 4.9 Discordance of Generation point number

산출점의 개수를 일치시키기 위해서 각 방향 별 경계곡선 중에서 가장 많은 산출점의 개수와 차이만큼 해당 곡선에 추가적으로 생성하게 된다[Fig 4.10]. 각각의 산출점은 곡선의 형상을 결정하는 최소개수의 점이기에 때문에 곡선이 생성된 후에 점들이 추가로 정의되어도 곡선의 형상에는 차이가 없다.

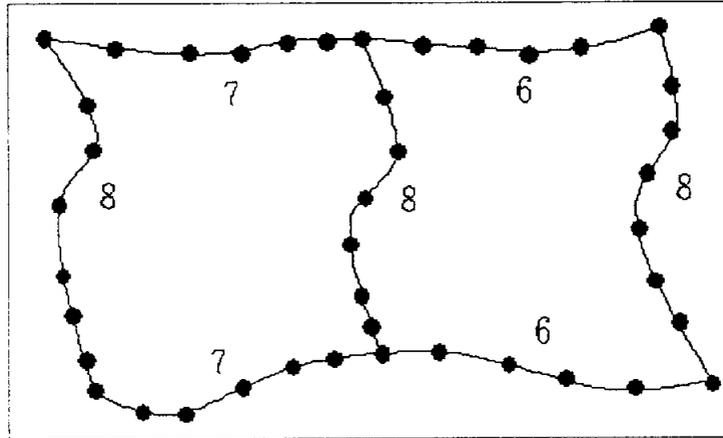


Fig 4.10 Accordance of generation point number

4.3.2.3 내부 자료점의 결정

앞의 과정에서 정의된 산출점을 자료점으로 이용한다.

최종적으로 NUB 곡면을 생성하기 위해서는 각 점들의 위치 좌표와 접선벡터 등의 형상계수가 정의되어야 한다. 이 형상계수를 NUB 곡면과 결합시키기 위해서 Coons 곡면이론의 곡면생성기법에서 정의한 Hermite 혼합 함수를 이용하여 내부의 자료점들을 구해낸다.

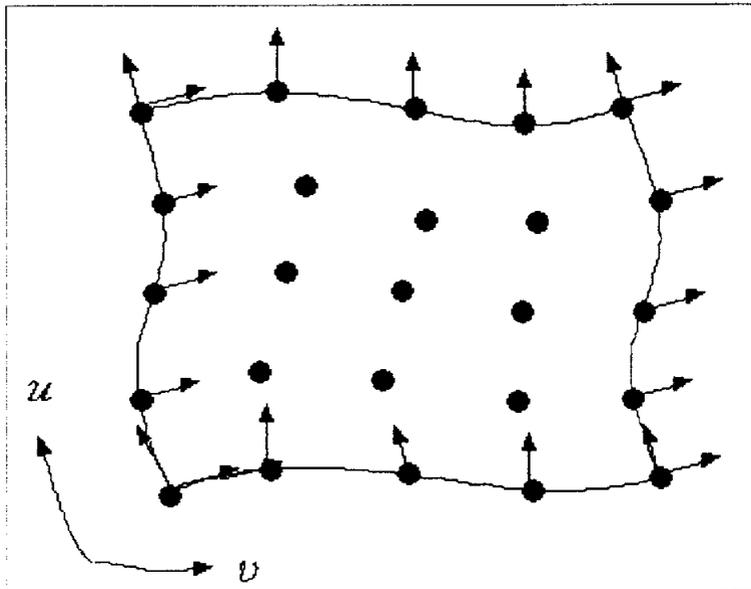


Fig 4.11 Generation of internal data point

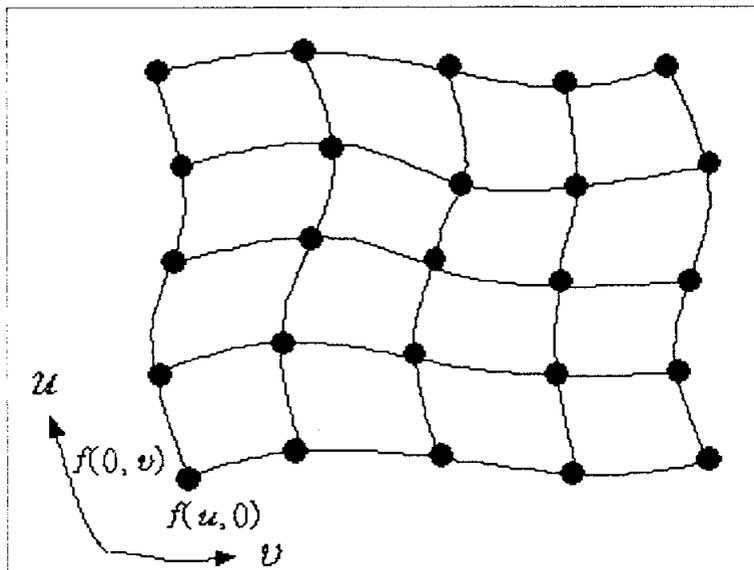


Fig 4.12 Remeshing by means of internal point

Hermite 혼합 Coons 면조각을 이용하여 내부의 점들을 구한 다음 Remeshing 한다.

Fig 4.11 4.12는 경계곡선 상의 자료점에 대하여 Hermite 혼합 Coons 면조각 생성 방법을 이용하여 내부 점을 생성하고 Remeshing을 수행한 모습을 보이고 있다. 이를 통해 생성된 자료점을 이용하여 4.3.2절의 순서를 따라 NUB 곡면을 생성하게 된다.

4.3.3 사용된 곡면화 방법 II (삼각형 면조각 NUB 곡면 근사 피팅)

3D 곡선망으로 구성된 선박의 형상을 곡면화하기 위한 방법으로 NUB 곡면을 생성하였다. NUB 곡면을 생성하기 위해서는 NUB 곡면을 피팅하는 작업이 필요하고 앞서 사각형 면조각을 피팅하기 위한 과정을 살펴보았다.

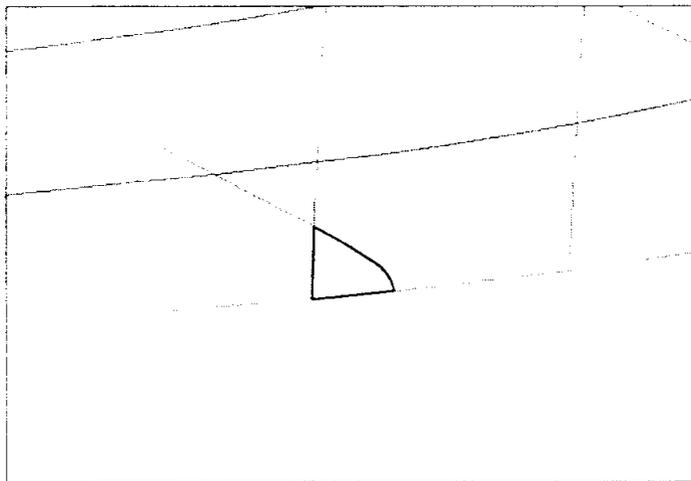


Fig 4.13 Triangle Patch

그러나 Fig 4.13과 같이 삼각형 형상의 면조각의 경우 그 형상의 정의에 어려움이 따르므로 사각형 곡면과 함께 고려되어야 한다.

이 장에서는 삼각형 면조각을 생성하기 위해 사용한 방법론에 대하여 설명할 것

이다. 기본적인 개념은 Hermite Coons 면조각에서 4개의 모서리 점 중에서 이웃한 두 점을 한 점으로 일치시키는 것이다.

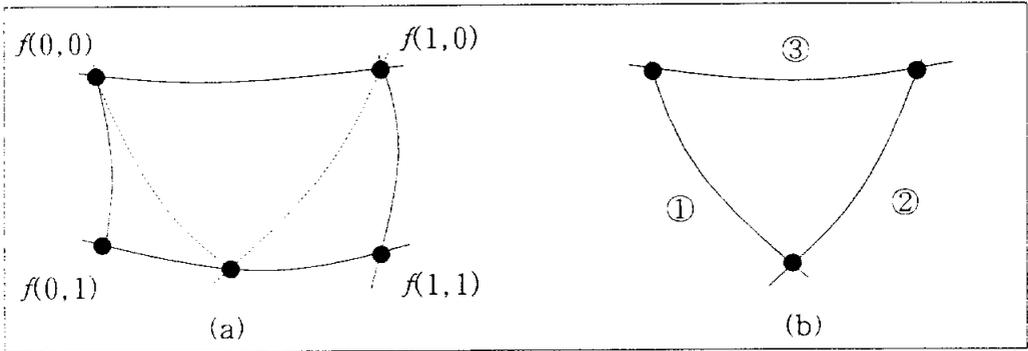


Fig 4.14 Main idea of triangle mesh generation

Fig 4.14(a)에서 $f(0,0)$ 과 $f(1,0)$ 가 같은 위치좌표를 가진다고 하고 Fig 4.14(b)와 같이 삼각형의 형태로 면조각을 구성하였다.

Fig 4.14(b)의 경계곡선①에서 경계곡선②, ③과의 교차점을 각각 시작점과 끝점으로 잡고 4장의 사각형 면조각 생성방법에서와 같은 과정을 거쳐서 산출점을 발생시킨다. 경계곡선②와 ③의 경우도 마찬가지로 산출점을 발생시킨다.

Fig 4.14(b)의 경우 경계곡선①과 ②는 서로 마주보는 곡선으로 정의되므로 산출점의 개수가 같아지고 같은 선상에서의 시작벡터와 끝벡터가 존재하게 된다. 그리고 경계곡선③에서의 산출점들의 벡터는 경계곡선①과 ②의 교점으로 향하게 된다.

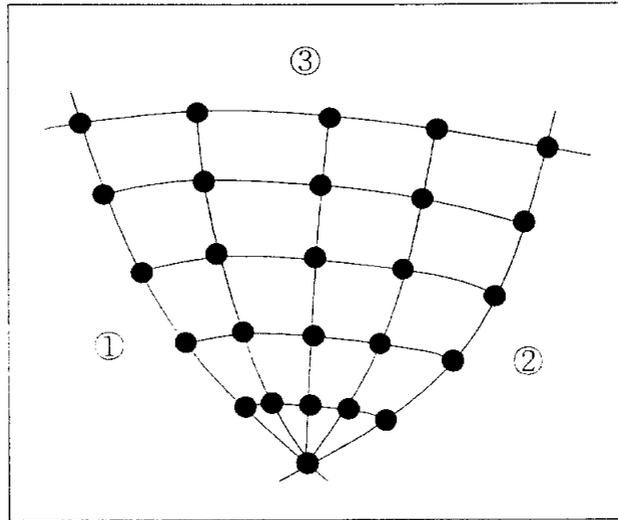


Fig 4.15 Remeshing for Generation point

Fig 4.15는 경계곡선에 산출점이 정의되고 Hermite Coons 면조각 보간 방법에 의해 구해진 내부점들을 이용하여 Remeshing 한 모습이다.

4.3.4 Bulb의 곡면화 결과

Fig 4.16은 Bulb 부분을 곡면화하여 Shading을 수행한 후의 모습이다.

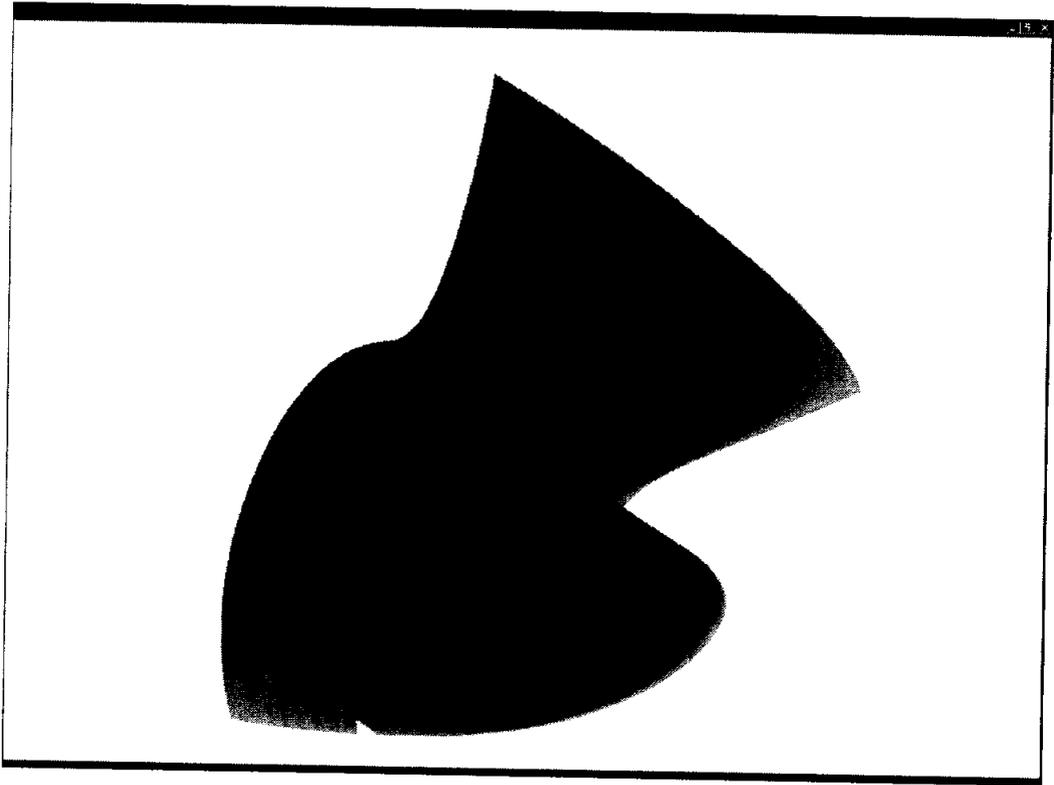


Fig 4.16 Shading of bulb

4.3.5 삼각형 조각의 곡면화 결과

Bulb 부분을 정의할 때 Fig 4.16 의 선저 부근에서의 삼각형 형상의 조각은 정의가 되지 않기 때문에 사각형 형상과 분리하여 정의를 하여야 한다. Fig 4.17은 삼각형 형상에 대해서 곡면을 정의하고 Shading을 수행한 모습을 보이고 있다.

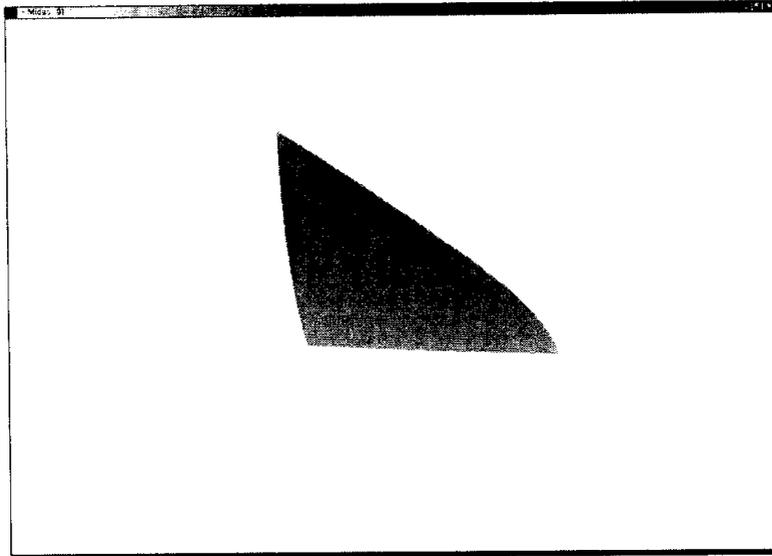


Fig 4.17 Shading of triangle patch

4.4 전체 형상의 곡면화 결과

Fig 4.18에서는 구획에 의한 곡면화와 Bulb 부분의 곡면화를 동시에 수행한 전체 선형의 곡면화 결과를 보이고 있다.

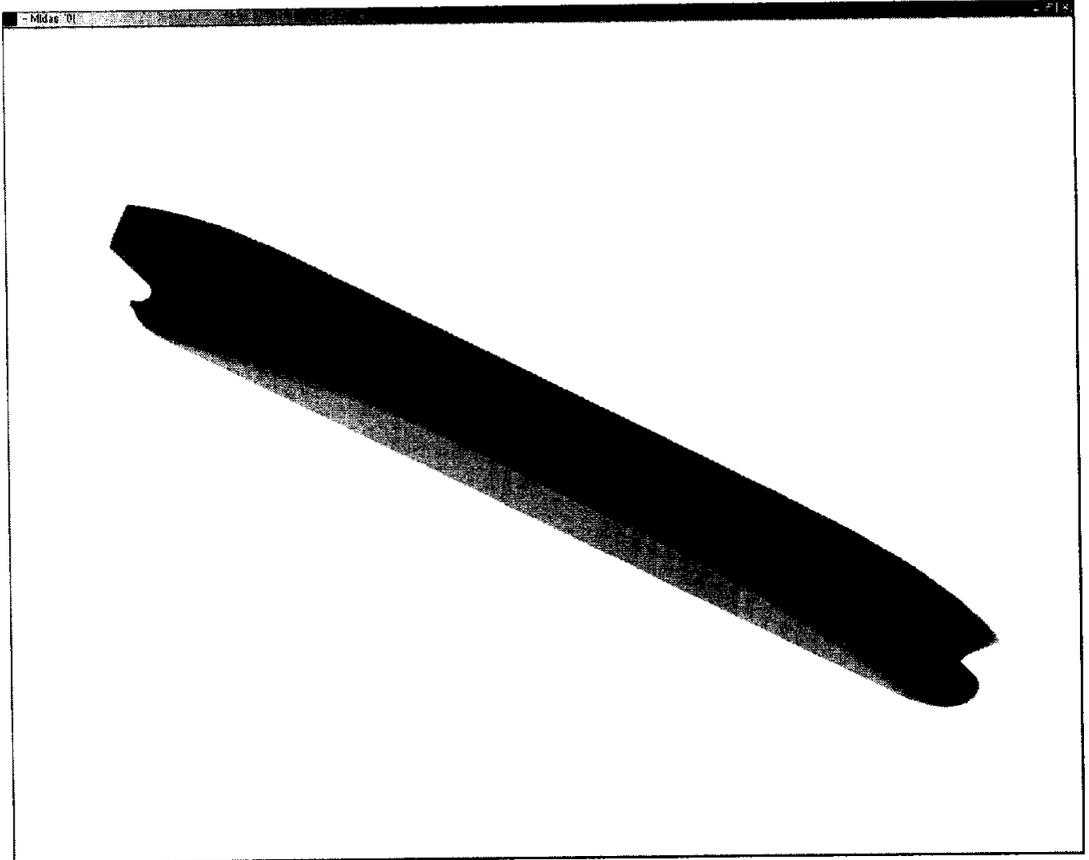


Fig 4.18 Shading of overall hull form

5. 범용 CAD Program과의 연결

본 연구에서 범용 CAD Program으로는 기계, 자동차, 항공기 설계 분야에서 널리 사용되고 있는 CATIA를 선택하였다.

CATIA(Computer-graphics Aided Three-dimensional Interactive Application)는 제품의 모델을 설계 개념으로부터 제품 생산에 이르기까지 전 과정에 걸쳐 제작, 수정, 관리 할 수 있도록 해주는 CAD/CAM/CAE 소프트웨어로 프랑스의 Dassault 시스템에 의해서 1981년부터 본격적으로 보급되었다. 현재는 자동차, 항공, 기타 제조업에서 그 쓰임이 많으나 조선업계에서는 Tribon 과 같은 조선 전용 프로그램이 사용되고 있어 사용도가 미미하다. 그러나 CATIA는 자동차, 항공 분야에서의 사용비중이 높은 만큼 솔리드 모델링 뿐만 아니라 고 정밀도의 곡면 모델링에 강점을 가지고 있다. 향후 조선/해양분야로 적용 범위를 넓히고자 하는 연구가 진행중임에 따라 조선업계에서의 의존도가 점차 증가할 것이라 예상된다.

5.1 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)

IGES는 1980년에 그래픽정보의 교환을 위해 미국 상무부의 국가표준국(NBS, National Bureau of Standards)에서 제정한 표준규격이다. IGES는 제품 정의 데이터의 수치적 표현 및 교환(digital representation and communication)을 위한 중립 데이터 형식(neutral data format)의 제공을 목적으로 하고 있다. IGES는 중립파일(neutral file)을 이용한 이기종 CAD/CAM시스템간의 형상데이터 교환을 위한 수단으로, 다른 어떤 파일형식보다 널리 사용되고 있어서 실질적인 세계표준이라 할 수 있다.

5.2 곡면의 CATIA Loading

MIDAS에서 곡면화 과정을 거쳐서 생성된 전체 선박의 곡면 형상을 IGES 파일 포맷으로 변환하여 CATIA에서 읽어들었다. IGES파일은 여러 종류의 CAD/CAM 시스템들 사이에서 데이터 교환이 될 수 있도록 하는 대표적인 중립 파일이다.

Fig 5.1은 MIDAS에서 순정과정을 거친 선형을 보이고 있다. 이 순정된 선형에 곡면을 생성하여 IGES 파일 포맷으로 변환 후 CATIA에서 곡면의 품질을 분석할 것이다.

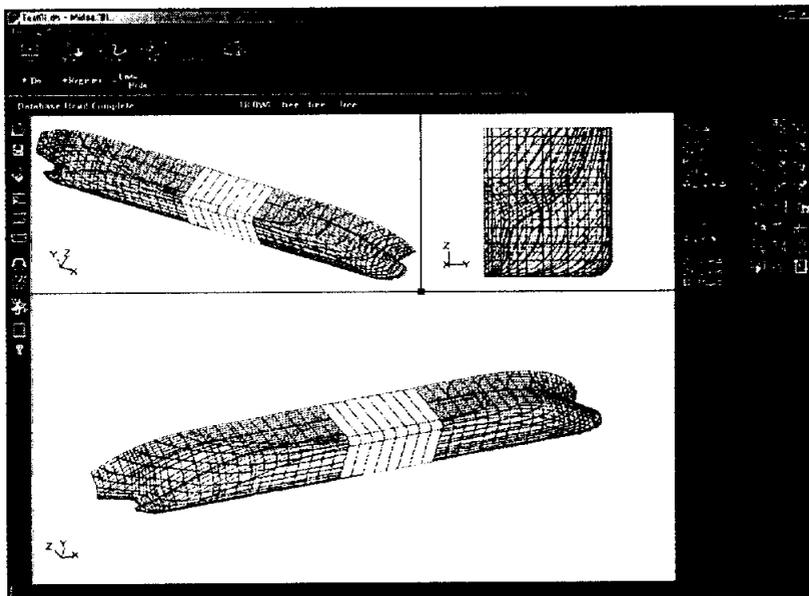


Fig 5.1 Faired hull forms by means of MIDAS

선박 형상의 특성상 선수미부에서 심한 곡률을 가지므로 선수미부를 중심으로 곡면간 연속과 곡면의 품질 등을 관찰하였다.

5.3 빛의 반사를 이용한 곡면의 품질 분석

곡면화에 사용된 모델선의 재원은 다음과 같다.

선박 재원

DWT 44000 MT PRODUCT CARRIER

LBP : 168 m

B : 30.4 m

D : 18 m

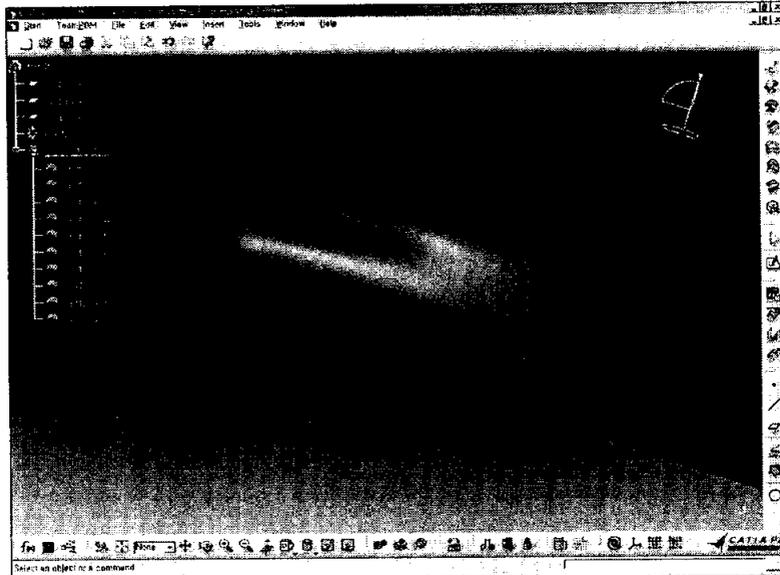
T : 12 m

Lcb : 4.04 m

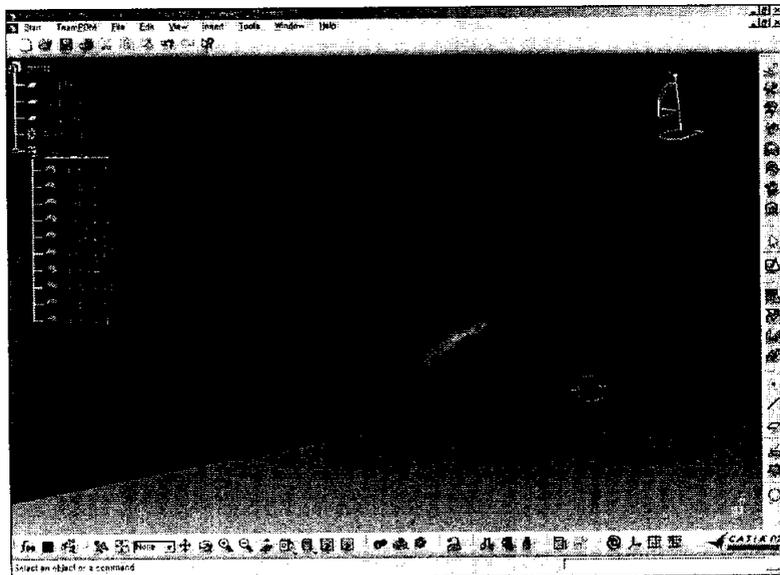
Cb : 0.8033

MIDAS에서 생성된 곡면을 CATIA에서 읽어 들인 후 곡면형상의 관찰을 용이하게 하기 위해 선체의 3D 곡선망을 제거하였다[Fig 5.2].

Fig 5.3에서는 빛의 반사를 이용하여 선수미부의 곡면에 대한 품질을 분석해 보았다.



(a) Reflect of forebody



(b) Reflect of afterbody

Fig 5.3 Survey of after and fore body by reflect

5.3.1 분석 결과

빛의 반사에 의해서 곡면의 품질을 육안으로 살펴본 결과로 선수부에 대해서는 비교적 부드러운 곡면을 관찰할 수 있었으나 선미부의 곡면 품질이 약간 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

5.4 CATIA 기능에 의한 곡면 접합도 분석

CATIA에서 제공되는 Connect Checker 기능을 이용하여 곡면 접합부의 연속조건을 검토해 보았다. 각각 곡면의 C_0 , C_1 연속조건에 대하여 그 정도를 살펴보았다. C_0 연속조건은 곡선 혹은 곡면의 접합 부분에서 위치좌표만이 일치하는 연속조건이고 C_1 연속조건은 곡선 혹은 곡면의 접합부에서의 위치정보와 접선 벡터값이 일치하는 연속조건이다.

Fig 5.4는 곡면의 접합부에서의 간격을 나타내고 있다.

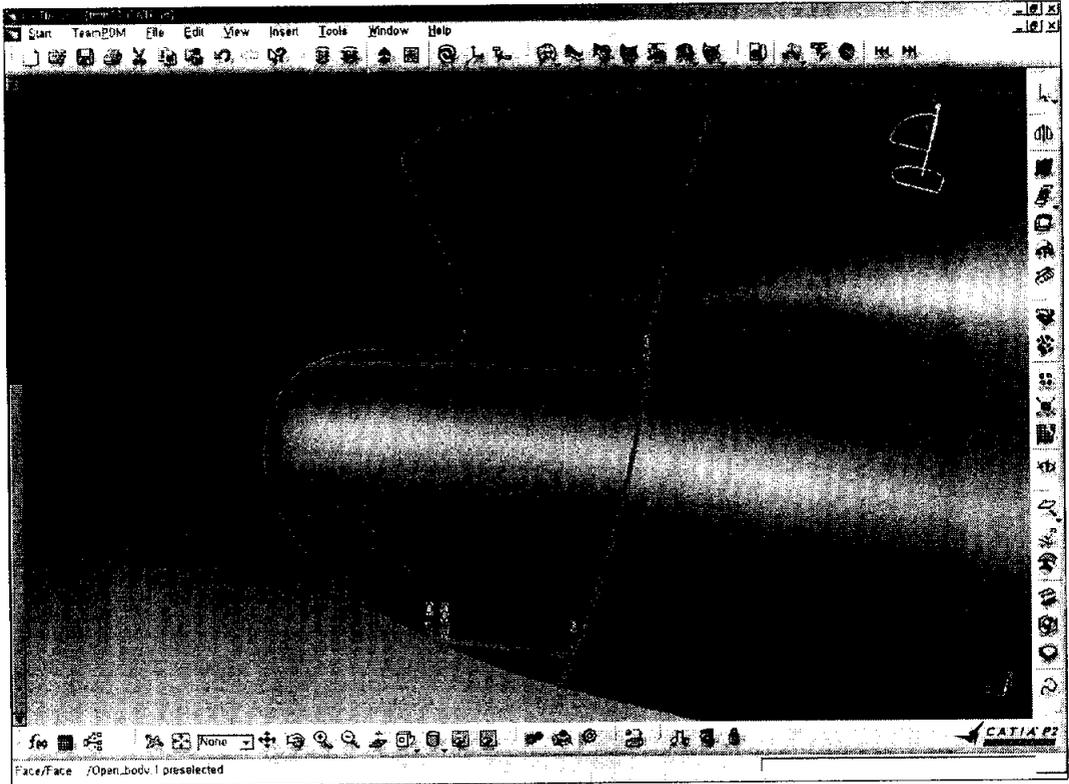


Fig 5.4 Distance of surface connection Unit : m

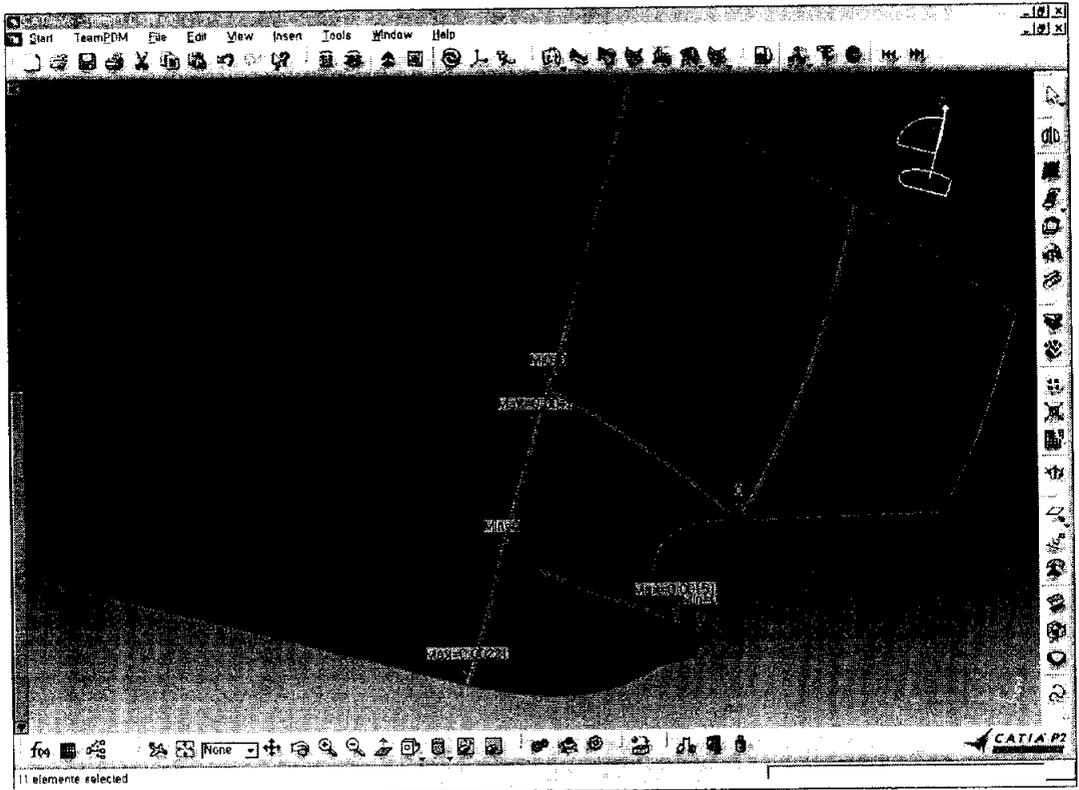
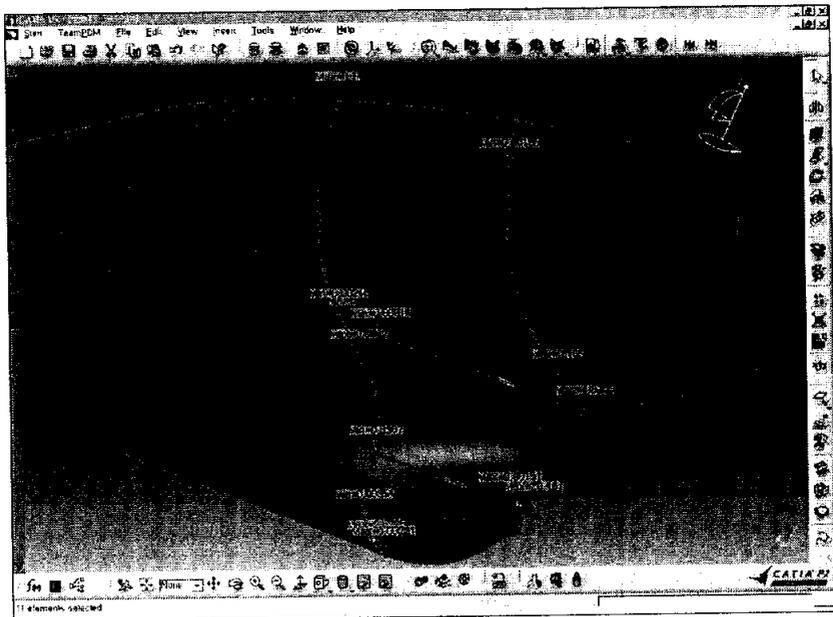
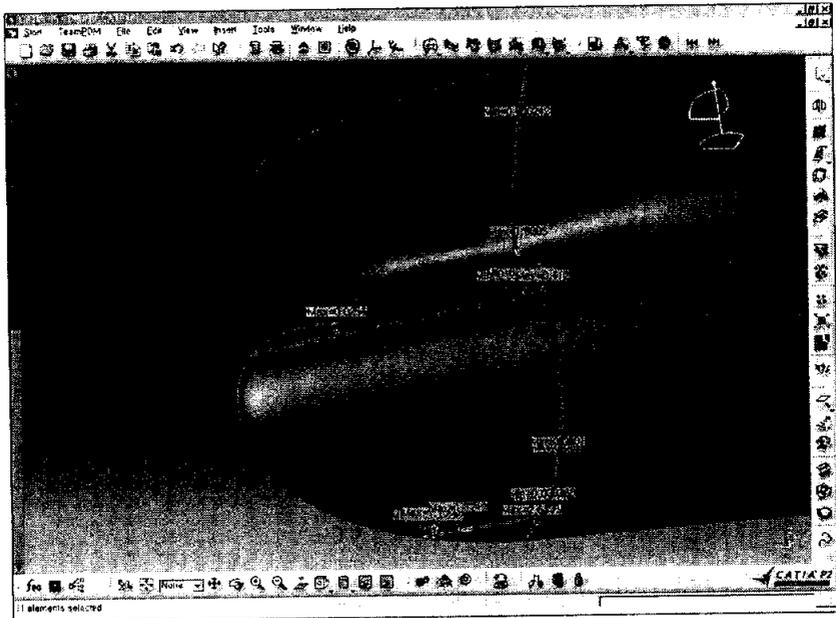


Fig 5.5 Distance of surface connection Unit : m



Unit : degree

Fig 5.6 Tangent vector of surface connection

5.4.1 분석 결과

선수 선미부에서 곡면간 접합부의 간격과 접선벡터를 수치적으로 표현하여 그 정도를 분석해 보았다.

Table 5.1 Distance of surface connection

PART	접합부에서 곡면간의 간격 분포(m)	
	MIN 분포	MAX 분포
선수부	0	0
선미부	0	0.00151 ~ 0.0042

Table 5.2 Tangent vector of surface connection

PART	접합부 접선벡터의 차이 (degree)	
	MIN 분포	MAX 분포
선수부	0.00336 ~ 0.0268	0.0268 ~ 2.6435
선미부	0.00954 ~ 0.00186	0.165 ~ 4.8305

Table 5.1에서 보는바와 같이 선수부에서는 곡면간의 간격이 0으로 접합이 제대로 이루어져 있으나 선미부에서 곡면간 접합부에서 전체 선박 길이의 약 0.000008988% ~ 0.00002.5% 의 간격을 보이고 있다.

Table 5.2의 곡면접합부에서의 접선 벡터들의 차이 분포를 살펴보면 선수미부에 걸쳐 최소 0.00336 deg ~ 최대 4.83 deg까지 곡면간 접합부분에서 접선 벡터방향의 차이를 확인할 수 있었다.

5.5 CATIA 기능에 의한 곡면 접합

곡면접합의 정도를 높이기 위하여 CATIA에서 제공하는 blending기능을 이용하여 곡면접합을 시도하였다. 선미부분에 대해서 곡면 생성 시 곡면간에 어느 정도 간격을 두어 곡면을 생성한 후에, 그 간격에 대해 균일한 접선 벡터를 가지는 곡면으로 채움으로서 곡면간 접합도의 향상을 기대하였다. Fig 5.7은 간격을 두고 생성한 곡면을 CATIA 상에 Loading 한 모습을 나타내고 있다. Fig 5.8는 CATIA의 blending 기능을 이용하여 간격을 채운 후의 모습이다.

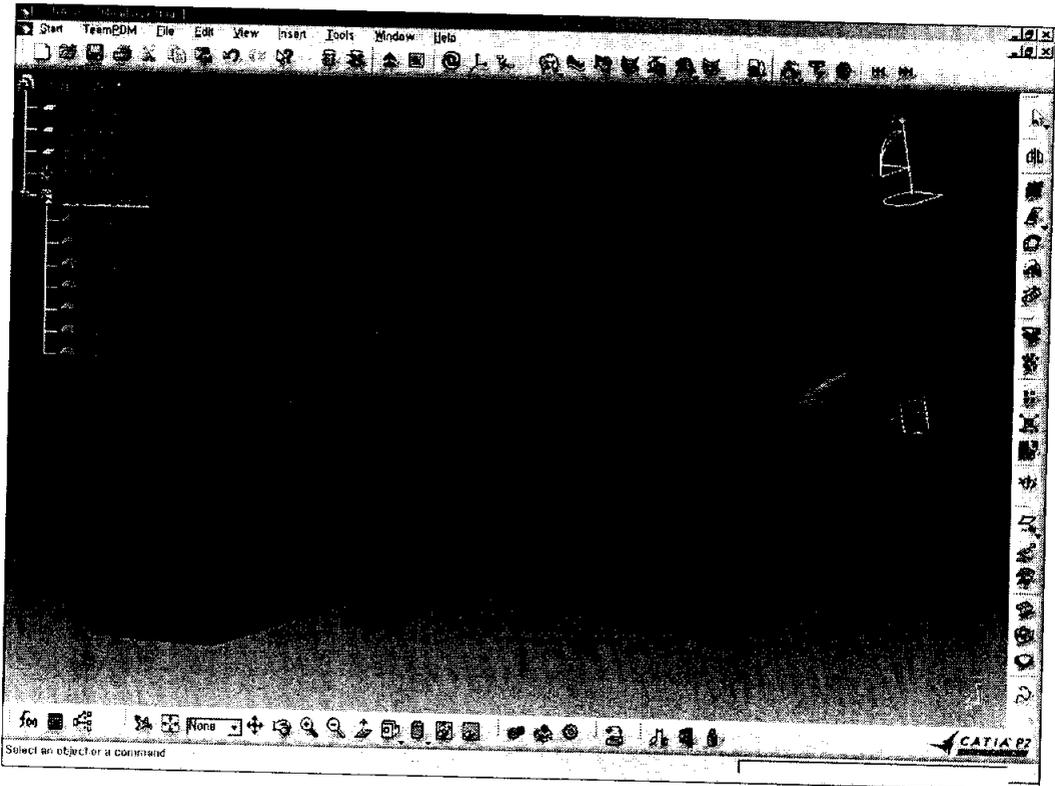


Fig 5.7 Surface generation for blending

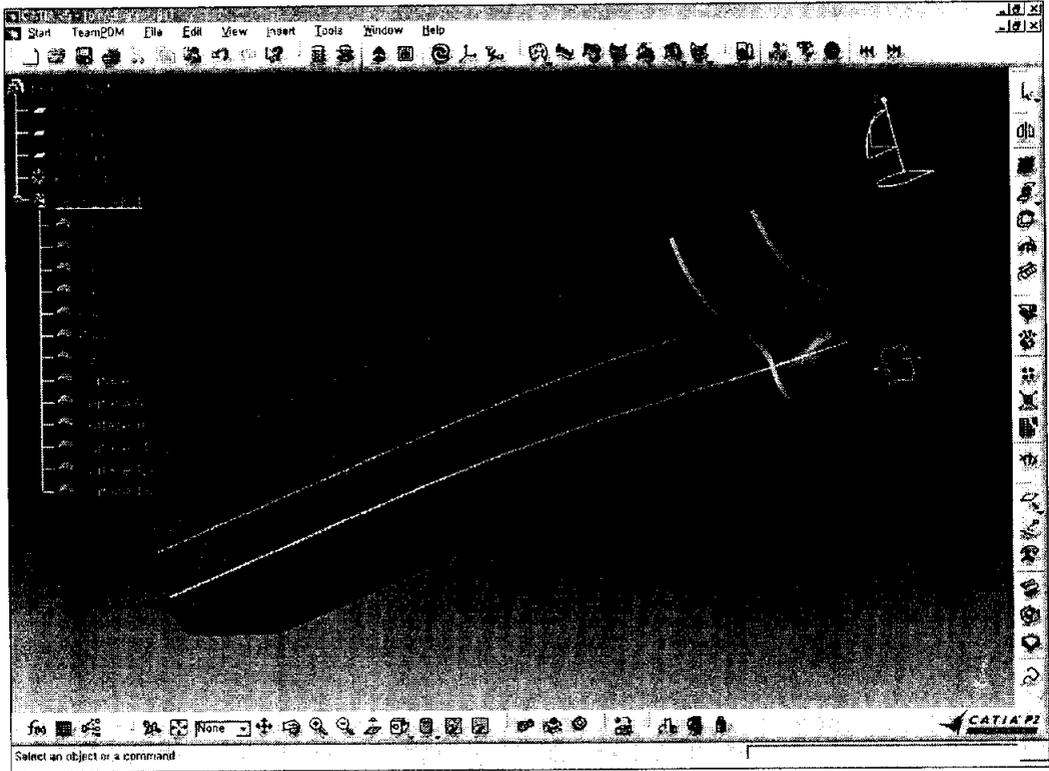
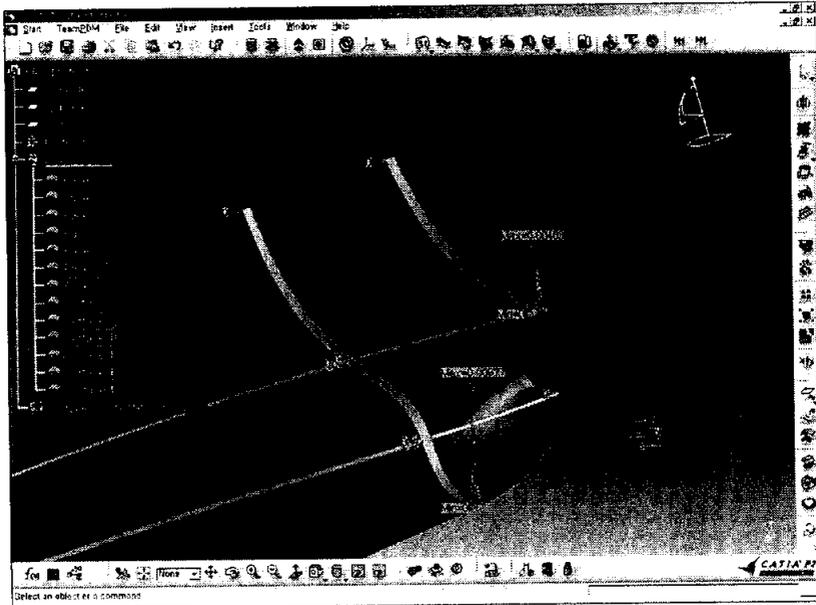
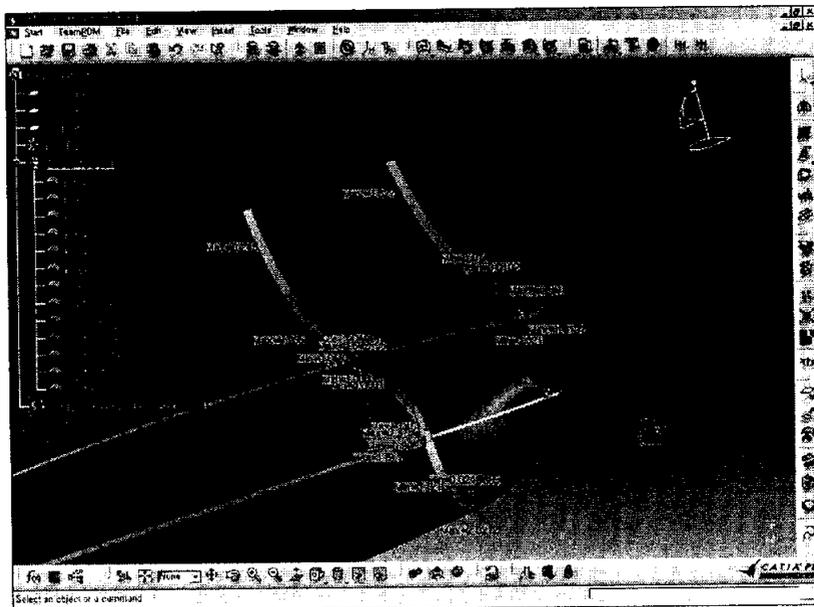


Fig 5.8 Surface blending



(a)



(b)

Fig 5.9 Measurement of connection by connect checker

5.3절에서와 동일한 선박에 대하여 곡면의 blending을 수행하고 Connect Checker 기능을 이용하여 측정된 결과를 수치적으로 나타내면 다음과 같다.

Table 5.3 Distance of surface connection

PART	접합부에서 곡면간의 간격 분포(m)	
	MIN 분포	MAX 분포
선미부	0	0.00463~0.00977

Table 5.4 Tangent vector of surface connection

PART	접합부 접선벡터의 차이 (degree) 분포	
	MIN 분포	MAX 분포
선미부	0.0102~0.321	0.562~5.75

Table 5.3 5.4의 측정 DATA를 Table 5.1 5.2의 결과 DATA와 비교해 볼 때 기대했던 만큼의 정도 향상을 확인할 수 없었다. 그 이유를 고찰해 보면 곡면간의 간격을 충분히 작게 설정해 주지 못했고, 또한 blending 기능이 두 곡선을 Loft 하는데 지나지 않으므로 곡률이 심한 부분에서는 곡면간 간격을 충분히 메워 주지 못한데 있다고 사료된다.

5.6 자료점의 개수 증가에 따른 곡면 접합

구획에 의한 NUB 곡면 생성 시 각각의 구획에 일정간격으로 스테이션 혹은 워터라인이 생성된다. 이렇게 생성된 스테이션 혹은 워터라인 상에는 기본적으로 80개의 자료점으로 정의되어 있는데 이 장에서는 각각 40개, 80개, 160개 등으로 자료점의 개수에 변화를 주어 곡면 접합 부분에 대한 연속 여부를 확인하였다.

Table 5.5 Tangent vector comparison of surface connection

자료점의 개수	접합부에서 곡면간의 간격 분포(m)		접합부 접선벡터의 차이 (degree) 분포	
	MIN 분포	MAX 분포	MIN 분포	MAX 분포
40개	0	0.00421~0.00943	0.00461~0.0446	0.287~4.8402
80개	0	0.00419~0.00938	0.00167~0.0399	0.284~4.8149
160개	0	0.00419~0.00938	0.00393~0.0366	0.112~4.8084

Table 5.5에서 곡면간 간격분포는 자료점 개수가 증가함에 따라 어느 정도의 향상을 확인할 수 있었고 접합부 접선 벡터 차이 분포에서도 자료점 개수가 증가할수록 향상되고 있음을 볼 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 범용 CAD 시스템에서의 응용을 목적으로 워터라인, 스테이션, 버트라인으로 이루어진 선박의 3차원 곡선망을 곡면화 하기 위한 방법론을 제시하였다. 그리고 범용 CAD Program과의 연계과정의 일부분으로 대표적인 3차원 CAD 시스템인 CATIA에서 그 정도를 확인하였다.

3차원 곡선망을 곡면화 하기 위해서 NUB 곡면 생성방법을 채택하였는데, 선박을 몇 개의 구역으로 나누어 각각에 대하여 NUB 곡면을 정의하였다. 그리고 Bulb 부분에서의 곡면의 품질을 높이고자 경계곡선 상에 자료점을 정렬하고 Hermite Coons 면조각 보간 방법에 의해 내부 점들을 발생시켜 근사적으로 NUB 곡면을 피팅할 수 있는 방법론을 제시하였다. 그리고 삼각형 형상의 면조각을 정의하기 위한 방법론을 소개하였다.

이렇게 생성된 곡면에 대하여 대표적인 중립파일인 IGES 파일 포맷으로 변환시켜 CATIA에서 읽어 들인 후 그 정도를 확인하는 과정을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 빛의 반사에 의해 곡면의 품질을 확인한 결과 선미부에서 곡면의 미세한 휘어짐을 관찰할 수 있었다.
- 2) 곡면간 접합부의 간격의 경우 선수부에서는 틈새가 없는 C_0 연속의 곡면을 확인할 수 있었으나 선미부의 Shaft 부분 등에서 오차를 확인 할 수 있었다.
- 3) 곡면간 접합부에서의 접선 벡터 차이의 경우 선수, 선미부에서 어느 정도의 오차를 발견할 수 있었다.
- 4) CATIA에서 제공되는 blending 기능을 이용하여 곡면간 접합도의 향상을 도모하였으나 blending 기능을 이용하기 위하여 사전에 준비되어야 하는 작업이 번거롭고 또한 blending 후의 결과도 기대에 미치지 못하였다.

5) 구획에 의한 NUB 곡면 생성 시 각 구획을 이루는 내부 자료점들의 개수를 조절함으로써 곡면 접합부의 연속 조건 향상을 기대하였다. 그 결과 자료점의 개수가 증가할수록 접합부의 접선 벡터의 분포에 대해 어느 정도의 향상을 발견할 수 있었다.

향후 선형의 곡면화 방법론에 대한 여러 각도에서의 접근이 필요하고 또한 CATIA상에서 곡면을 생성할 수 있는 방법과 곡면간의 접합도를 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 그리고 CATIA의 기능에 의해 분석된 접합부의 오차에 대하여 실제 허용 가능한 범위의 기준을 세우는 과정이 필요하다.

7. 참고문헌

- Byoung K. Choi, 1991 "Surface Modeling for CAD/CAM", ELSEVIER
- D.F. Rogers, J.A. Adams, 1989 "Mathematical elements for computer graphics", 7th edition, McGraw-Hill
- 김동준, 윤태경, 1994 "선형의 순정기법에 관한 기초 연구", 대한조선학회 논문집, 제31권 2호, pp.15-21.
- 박성우, 2001 "영업설계를 위한 기본 설계 통합 시스템", 부경대학교 공학석사 학위논문, pp.1-8.
- 윤병호, 서승완, 김원돈, 김광욱, 1985 "B-Spline을 이용한 선체 표면에 관한 연구", 대한 조선학회지, 제22권, 3호, pp.19-26.
- 윤태경, 1998 "선체 외관 모델링을 위한 CAD 시스템 개발", 부경대학교 공학 석사 학위 논문, pp.6-18.
- 임중현, 이규열, 1997 "베지에 곡선모델(드카스텔조 알고리즘)을 이용한 곡면 통합 모델링 기법", 대한조선학회 논문집, 제34권 4호, pp.127-138.
- 부경대학교 정밀가공연구실 홈페이지
<http://www.pknu.ac.kr/~yoonmc/index2.htm>

감사의 글

대학원 진학을 위해 면접을 보던 그 날이 아직도 생생한데 이제 졸업이 코앞에 다가왔습니다. 이제 와서야 학문이라는 거대한 산 앞에서 얼마나 초라한 존재인지를 알 것도 같습니다. 산의 중턱에서 ‘야호’ 하고 소리치려 했던 제 자신이 한없이 부끄럽게 느껴집니다. 이제 혼자서 나머지 산을 올라야 할 시점에서 그만큼 올라오기까지 도움을 주신 많은 분들이 떠오릅니다. 모든 분들에 대해 고마움을 표현하기에는 지면이 좁기만 합니다.

우선 학문과 인생의 스승으로써, 부족함 많은 저에게 올바른 길로 이끌어 주시고, 항상 학생들의 가까이에서 웃음으로 격려를 아끼지 않으셨던 지도 교수님이신 김동준 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 부족한 논문을 심사해 주시고 충고해 주신 길인철 교수님, 김용직 교수님, 폭넓은 지식과 학문의 기초를 닦아주시고 인도해 주신 홍봉기 교수님, 배동명 교수님, 구자삼 교수님께 깊이 감사드립니다.

항상 과묵하시지만 멀게 느껴지지 않는 윤태경 수석님, 언제나 포근한 웃음으로 대해주셨던 유병항 선생님, 너무도 편하고 적극적이신 심상목 실장님께 감사드립니다. 그리고 때로는 자상한 형처럼 때로는 엄한 선배처럼 격려와 충고를 해주신 대학원 대장 민경철 선배님, 수조에서의 모험을 함께한 박종현 선배님, 더 오래 같이 할 수 없는 것이 안타깝습니다. 지금은 졸업했지만 석사 1년을 같이 생활하면서 술도 많이 먹고, 저의 당구실력 향상에 지대한 공헌을 한 태윤이 형과 송한이 형, 성두형, 모두들 각자의 분야에서 성공하시길 바랍니다. 연구실 상주모드로 항상 많은 일을 하고 있는 무열이 형, 이제는 귀가모드로 전환하길 바랍니다. 학부 선배이자 대학원 후배인 차세대 연구실의 두 기동 현수 형과 석봉이 형, 부족한 방장을 지금까지 믿고 따라준 동훈이, 연희, 은지, 미래, 나까야마 씨에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 남다른 열정으로 배움에 다시 뛰어어드신 박근웅 선생님, 꼭 뜻하시는 바를 이루시길 바라겠습니다. 대학원 생활동안 많은 도움을 주신 배성룡 교수님, 하영록 선배님, 이승철 선배님, 신기석 선배

님, 신창혁 선배님, 김철현 선배님을 잊을 수가 없을 것입니다. 그리고 이제 본격적인 배움의 산을 오르게 될 도군이 형과 교덕이에게도 많은 성과가 있길 바랍니다.

내가 힘들고 지쳐 쓰러지려 할 때 항상 곁에서 시끄럽게 떠들던 친구들, 연성이, 영환이, 탁근이.... 춘하추동 4인방 덕분에 잠시라도 걱정, 근심을 잊을 수 있었습니다. 이 기회를 빌어 고맙다는 말을 전합니다.

장남임에도 공부한답시고 집안에 소홀히 한 적도 많았지만 묵묵히 지켜봐 주시고 격려해 주신 부모님, 당신은 부유하지 못했지만 저만큼은 부족함 없이 키우기 위해서 애쓰신 부모님께 이 논문을 바치며 말로 다 표현 못할 감사를 드립니다. 항상 형을 걱정하며 서울에서 사회생활의 경험을 쌓고 있는 진호에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

대학원 생활을 시작하면서 인연을 맺어 부족한 저를 항상 믿어주고 힘이 되어준 문희에게도 사랑한다는 말을 하고 싶습니다.

마지막으로 본 지면을 통해 소개하지 못한 저를 알고 있는 모든 분들에게 사드립니다.