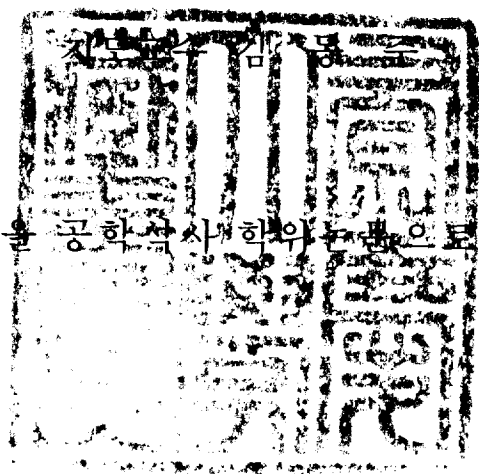


공학석사 학위논문

곡면가시화 기법을 이용한 선수형상 순정에 관한 연구

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2005년 8월

부경대학교 대학원

조선해양시스템공학과

서 석 봉

서석봉의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 8월

주 심 공학박사 金 仁 喆 (印)

위 원 공학박사 金 容 直 (印)

위 원 공학박사 金 東 俊 (印)

목 차

I 서론

1	개요	1
2	연구 배경 및 동향	3

II 본론

1	곡선 이론	5
1.1	NUB 곡선 정의	5
1.2	NUB 곡선 생성	5
2	곡선망 순정	8
2.1	곡선망 순정방법	8
2.2	선수, 선미부 WL 순정	10
3	곡선망 순정도 향상을 위한 방안	14
3.1	Inflection Point Display	14
3.2	Intersection Angle Display	16
3.3	Diagonal Line Display	17

4	곡면화	-----	18
4.1	곡면화 이론	-----	19
4.2	경계곡선을 이용한 NUB 곡면 피팅(Fitting)	-----	27
4.3	제안된 곡면화 과정		31
5	곡면의 품질 분석	-----	37
5.1	개요	-----	37
5.2	실제 사용 예	-----	40
III	결론	-----	53
IV	참고문헌	-----	54

Study of Bow-shape Fairing Using Surface Display Method

Seo Suck-Bong

Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering,
The Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Generally, in the Initial ship design stage, design work consists Initial data related to Structure design of Midship Section, Construction Profile & Deck Plan and Shell Expansion to create the initial hull Lines and the following Structure design.

For the Initial design execution, if surface is defined perfectly from cross-section curves which is mathematically expressable, there will be a lot of advantages on following works of Detail design.

In this paper, A few methods are suggested; checking perfection of the curve net and the creating surface with curves created by the methods listed below.

First, method of evaluating perfection of the curves by finding the Inflection point of Initial hull data, and trend of changing Inflection point. Second, method of evaluating perfection by defining the angle of point of Intersection from Deck Line and Station Line. Third, method of evaluating perfection by creating Diagonal Line from FP to AP.

Also, this method is suggested; displaying the total hull by expanded data of full breadth instead using of old method of designing with half breadth data from symmetry of hull and creating the surface of Bow-shape with Waterline and Buttock Line.

And, To inspect the fairness of hull surface data, one of a inspection method; Reflection Analysis Method is used.

I. 서론

1. 개요

과거의 제도판 위에서 직접 선도(Lines)를 작성하던 때부터, 첨단기술의 발전과 더불어 컴퓨터 프로그램을 이용한 가상의 선들로써 선도를 작성하는 현대에 이르러서도 선형을 표현하는 기본원리는 변함없이 이어져 왔고, 이에 대한 연구는 지속적으로 진행되고 있다. 도면 또는 모니터 위에 그려진 가상의 곡선·곡면에 대하여 어느 정도의 부드러움을 가지는가, 부적절한 점으로 인하여 불필요한 부분은 없는가에 대한 정도를 유지하는 것이 순정의 기본적인 개념이자 그 목적이라고 할 수 있다.

전산기를 이용한 순정작업은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 단면곡선, 즉 2차원 곡선을 순정하고 다른 단면에서도 역시 부드러움을 확인하는 전통적인 방법이다. 두 번째는 곡면을 이용하는 것으로 전산기의 발달과 더불어 최근 많이 사용하고 있는 방법이다. 그러나 이 경우 먼저 선형을 곡면으로 정의하여야 하나 복잡한 선형의 경우 쉽지가 않다(윤태경, 1994).

곡선망 순정에 있어서, 이전까지 행해왔었던 방법은 선형을 SL(Station Line), BL(Buttock Line), WL(Waterline)으로 구성하고, 세 곡선이 만나는 교차점을 생성·수정함으로써 SL과 BL, BL과 WL, SL과 WL 상의 어떠한 2차원 도면에서도 매끄러운 곡선의 결과물을 얻고자하였다. 그러나 이러한 방법은 3차원 공간상에서 세 곡선(SL, BL, WL)이 만족하는 교차점을 찾는 데 많은 시간과 어려움이 있었다. 또한 새로 생성된 선형의 곡선 데이터로부터 필요한 데이터를 수집하는데 데이터 재가공의 작업이 필요하며 데이터 포인트의 추가로부터 변형될 곡선데이터를 확인해야 하는 번거로움이 존재하게 된다. 위와 같은 단점은 선형의 곡면화로써 보완할 수 있으며, 이미 곡면화에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 먼저 곡선망 데이터의 순정도를 검토해보고, 검증된 데이터로부터 곡면화를 수행하였다. 곡면화 단계는 크게 곡선망 피팅, 곡선망 순정, 곡면생성, 품질검증의 4단계로 구성되었고, 곡면의 품질분석을 위해 CATIA 프로그램을 사용하였다.

순정된 곡선망을 바탕으로 곡면을 생성하게 된다면 곡면의 품질이 좋고, 곡면에서의 직접적인 순정작업을 줄여줄 수 있다. 따라서 곡면을 생성하기에 앞서, 곡선망 데이터의 순정이 필요하다. 곡선망 순정에는 기본적으로 교차순정과 대화식 방법을 이용하였다.

본 논문에서 제시한 순정된 곡선망의 순정도를 확인하는 3가지 방법은 다음과 같다. 첫째, 초기선형의 데이터에서 변곡점을 찾고, 그 변곡점의 추이로써 곡선의 순정도를 평가한다. 둘째, 선수에서 선미까지의 Diagonal Line을 생성해서 순정도를 평가하며, 마지막으로, DL(Deck Line)과 SL의 교차점에서의 각도를 가시화함으로써 순정도를 평가한다. 이상 3가지 방법은 선형순정에 관한 사용자의 직관적인 판단을 도와주며, 생성된 곡면데이터의 신뢰도를 향상시켜준다.

이후 순정된 곡선망 데이터를 전폭의 선형 데이터로 바꾼 후 곡선특성상 곡률변화가 큰 선수 벌브를 가지는 선수형상에 대한 곡면을 생성하였다. 기준이 되는 BL과 반폭도의 WL이 아닌 전폭도의 WL곡선으로 선수 형상을 정의한다면, 이전의 방법들에 비해 선수 형상을 정의하거나 수정을 할 때 커다란 이점을 가지게 된다. 이는 선박의 대칭성을 이용해 반폭의 선형으로 순정을 할 경우 센터라인(Center Line)을 교차하는 WL의 벡터를 고려해야하기 때문이다.

본 연구에서는, B-Spline 곡선망으로 구성된 선형에 대해서 순정의 정도를 검토하고, 선수 형상에서의 곡면 생성을 목적으로 한다. 그리고 곡선망과 곡면의 순정도에 대해, 직관적 판단을 위한 가시화 과정을 위해 Visual C++을 이용한 MFC 프로그램을 이용하였다. 또한, CATIA를 사용하여 곡면의 품질 분석을 수행하였다.

2. 연구 배경 및 동향

선형설계의 목적은 일반적으로 초기선형 선도(Lines)와 후행의 구조설계에 필요한 초기 데이터를 생성하는데 있다. 이 초기 데이터는 선체중앙단면도(Midship Section), 강재 배치도(Construction Profile & Deck Plan), 외판전개도(Shell Expansion)를 작성하는데 기초가 된다.

선형설계에서 초기 선형의 생성은 크게 2가지로 분류가 되는데, 첫째로 실적선 데이터를 이용해서 유사 선형을 찾는 것과 둘째로 선박의 형상을 나타내는 형상계수와 선형을 표현하는데 이용되는 곡선이나 곡면을 나타내는 수식 사이의 관계식을 도출하여 선형을 생성하는 것이다. 어떠한 방법을 이용하든 후행 작업에 맞게 초기 선형은 수정되어야 하는데 이러한 선형의 순정은 이전의 고도로 숙련된 기술자에 의해서 행해졌던 것처럼 어려운 것임은 틀림없다.

현재 대부분의 현장에서 사용하는 선형순정방법은 여러 개의 단면 곡선을 이용하여 반복적으로 행해지는 교차순정(Cross Fairing)에 의한 것으로 숙련자에 의해서만 가능할 뿐 아니라 매우 비효율적이다. 따라서 이를 극복하기 위한 곡선의 순정, 곡면화에 대해서 오래 전부터 연구되어 왔다.

국내에서는 윤병호 등(1985)이 B-Spline 곡면을 이용하여 선체표면을 수치적으로 표현하는 연구를 하였다. 김원돈 등(1991)은 수학적 순정법인 직접순정법과 외판의 변형 에너지를 최소화 하는 방법을 이용하고, 순정도 판정을 위해 Gaussian 곡률과 판의 변형에너지의 값을 사용하는 연구를 하였다.

김수영 등(1992)은 선형을 표현하는 자유형상 곡면을 B-Spline으로 하고, 형상계수들을 B-Spline곡면과 결합시키기 위해 Coons 곡면이론의 곡면생성 기법을 도입하여 Blending 함수를 정의하였지만 곡면 간의 접속문제에 있어 그 유효성이 부족하다는 문제를 남겼다.

신현경 등(1993)은 활선법, 선형보간법 및 반분법 등 간단한 수치해석 방법들을 사용하여, Bi-Cubic B-Spline Surface로 표현된 선체형상과 임의의 평면에 의해 교차된 선체 단면형상 찾는 방법을 수행하였다.

박지선 등(1994)은 곡선의 경우, 그물망 곡선을 이용한 순정하고, 곡면의 경우, 좌표

재배치에 의한 곡면 피팅법과 경계곡선을 이용한 양방향 스키닝법을 적용하였지만 선수부나 선미부 표현에 있어서 미해결 과제를 남겼다.

또한 임중현 등(1997)은 de Casteljau(드 카스텔조 알고리즘)와 Bezier 조정점을 이용하여 자유곡면을 표현하였다. 그러나 이 방법은 생성된 곡면을 NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline) 곡면으로 변환하기 어렵다는 점을 과제로 남겼다.

이후, 김동준 등(1997)은 곡률 분포를 수정하여 원하는 곡선/곡면을 생성가능한 자동 순정시스템 개발하였지만 과도한 민감도로 인해 설계초기의 불량율이 높은 곡면에 그대로 적용하기에 무리가 있었다.

최근의 연구 중에는, 신현경 등(2002)은 선체형상의 자료점을 조정점으로 가정하는 방법을 사용하여 NURBS 곡면으로 정의하는 방법을 제시하였다.

그리고 생성된 곡면의 품질분석 과정이 필요한데, 이는 곡면데이터를 후행의 공정에서 사용하거나 재가공을 필요로 할 때 향상된 신뢰도를 가지는 곡면데이터를 필요로 하기 때문이다. 이에 본 연구에서는 곡면품질 분석의 한 가지 방법인, 반사선분석법을 사용하였다. 반사선분석법은 빛의 반사원리를 응용한 방법으로, 반사선이 곡면의 법선벡터에 따라 결정되므로 한 번 미분한 값이 분석기준으로 사용된다. 반사선분석법중의 하나인 명암(shading)법은 대상물체에 반사되는 빛의 강도를 계산하고, 색채모델을 이용하여 화면상에 나타냄으로써 순정도 검증이 가능하다.

반사특성곡선(Reflection Characteristic Line)으로 곡면의 품질을 나타내는 Highlight Line/Band(K.P.Beier 등, 1994), Isophote Line(T. Poeschl, 1984)등의 기법은 이들 곡선을 다시 조작하여 곡면의 순정에 역이용할 수 있다는 커다란 장점 때문에, 최근 이에 대한 연구가 활발하다.(윤태경, 1998)

II. 본론

1. 곡선 이론

일반적인 CAD 프로그램에서는 NURBS 곡선식을 사용하지만, 본 연구에서는 NUB(Non-Uniform B-spline)곡선식을 이용하여 곡선을 표현하였다. 이는 선형을 이루는 곡선의 경우 가중치를 1로 고정하여 곡선을 표현하여도 충분한 결과를 얻을 수 있으며, 곡선의 조작이 쉬워진다는 장점이 있다.

1.1. NUB(Non-Uniform B-spline) 곡선의 정의

매트릭스형태로 Non-Uniform Cubic B-spline곡선을 표현하면 다음과 같다.(최병규, 1991)

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

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

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

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

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

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

V_i 는 조절점이고 ∇_i 는 노트간격(knot span)이다.

1.2 NUB 곡선 생성

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

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

확장 노트간격은 다중 노트표현식으로 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}\nabla_{-2} &= \nabla_{-1} = \nabla_0, \\ \nabla_{n+1} &= \nabla_n = \nabla_{n-1}\end{aligned}$$

다음 단계는 미지 조절점에 대한 선형연립방정식을 구성하는 것이다. 자료점 P_i , P_{i+1} 사이의 곡선 선분 $r^i(u)$ 는 다음의 관계가 성립한다.

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

위의 관계식을 1.1절의 NUB 곡선식에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

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

$$\begin{aligned}\text{여기서, } h_i &= (1 - f_i - g_i) \\ , f_i &= (\nabla_i)^2 / (\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-2}^3) \\ , g_i &= (\nabla_{i-1})^2 / (\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3)\end{aligned}$$

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

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

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

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

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

확장노트를 적용하여 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$f_0 = 1 ; g_0 = 0,$$

$$f_n = 0 ; g_n = 1,$$

$$a_0 = 0 ; b_0 = 3,$$

$$a_1 = 3 ; b_1 = 0.$$

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

$$\begin{bmatrix} -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_1 & h_1 & g_1 \\ & & & \\ & & f_{n-1} & h_{n-1} & g_{n-1} & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 \\ & & & 0 & -3 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ V_{n+1} \\ V_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{t}_0 \\ P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ P_n \\ \hat{t}_n \end{bmatrix}$$

여기서, $h_i = (1 - f_i - g_i)$,

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

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

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

2. 곡선망 순정

2.1 곡선망 순정방법

점(Point data)들로 이루어진 곡선 순정은 사용자가 곡선 상에서 점을 제거하거나 이동시켜 변화하는 곡률과 곡선을 확인하면서 이루어진다. 이는 일괄적인 절차를 거치는 것이 아니라 사용자가 눈으로 보고 키보드나 마우스를 사용해 화면에 출력된 결과를 보면서 상호 대화적으로 행해진다.

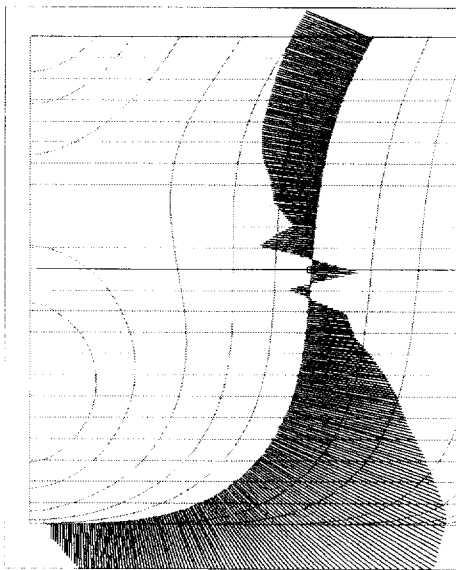


Fig. 1 순정 전 곡률형태

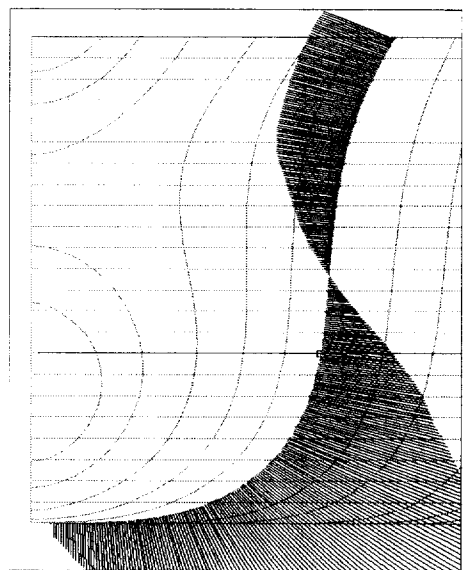


Fig. 2 순정 후의 곡률형태

상호 대화적 방법은 노드의 이동, 생략 등에 의한 것으로, 사용자는 옮기고자 하는 노드를 선택한 후 이동량을 결정해 줌으로써 눈으로 확인해가면서 순정을 수행한다(Fig. 3 참조).

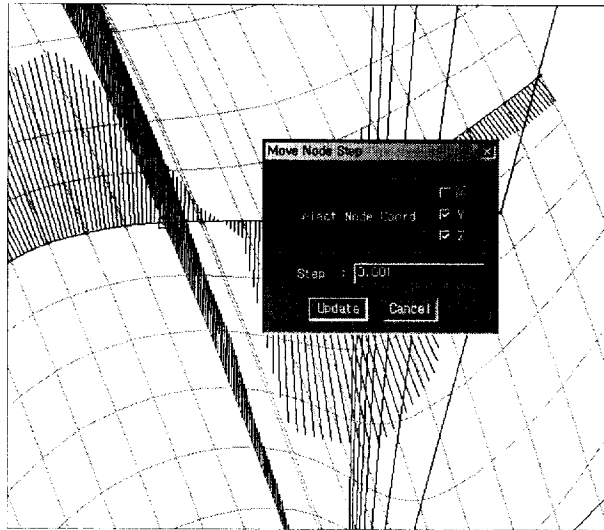


Fig. 3 상호 대화적 방법

또한, WL과 SL을 동시에 순정하는 교차순정(Cross fairing)을 사용하였다(Fig. 4 참조).

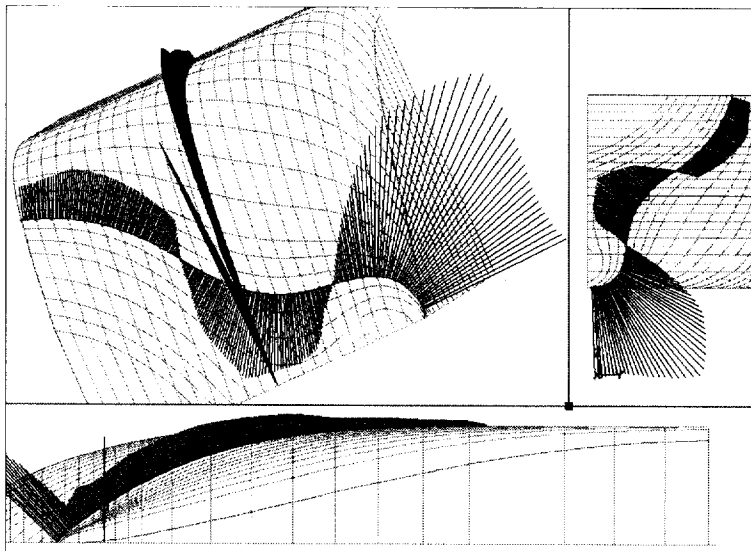


Fig. 4 WL과 SL의 교차순정

Fig. 5, 6은 마더쉽(Mothership)이나 원본의 선형을 레퍼런스(Reference)곡선으로 가시화해서 작업선형의 순정에 이용하는 것을 보여준다.

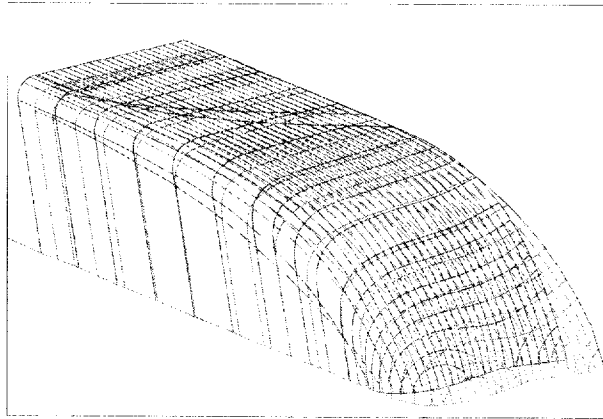


Fig. 5 작업선형의 곡선과 레퍼런스 곡선

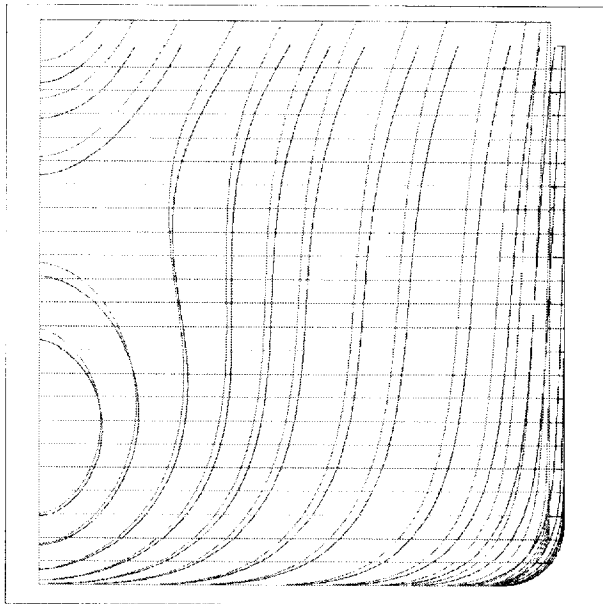


Fig. 6 정면도에서의 레퍼런스 곡선

2.2 선수, 선미 WL 순정

초기의 선형 데이터를 3차원의 공간에 나타낸 후, Point 정보로부터 곡선 피팅(Curve Fitting)을 한다. 이때 생성되는 WL의 시작벡터(Start vector)와 끝벡터(End Vector)는 Free로 놓여진다(Fig. 7 참조). 선박이 좌우 대칭인 점을 감안해서 두 벡터값을 재입력해주어야 한다.

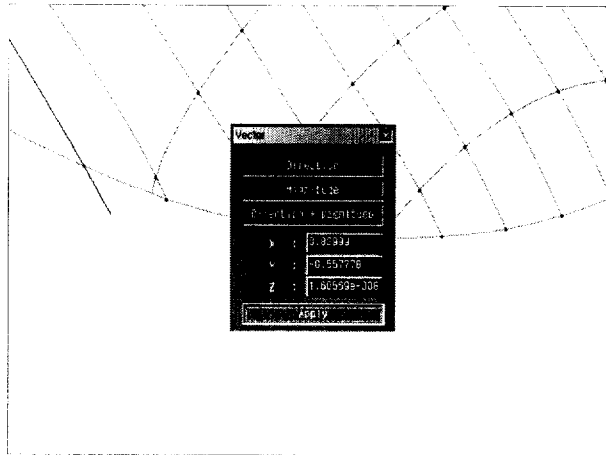


Fig. 7 WL의 초기상태 벡터값

일반적인 선형설계 프로그램은 반쪽의 선형 데이터를 사용해서 곡선 피팅과 곡선 순정을 실시한다. 하지만 반쪽의 선형을 순정하는 과정에서, 선수방향 DLWL이하의 WL과 선미방향 Shaft Center아래의 WL은 센터라인(Center Line)과 90°의 각도를 이루도록 해야 한다. 이처럼 WL의 끝벡터(End Vector) 또는 시작벡터(Start vector)에 직접 벡터값을 입력하거나 CL(Center Line or Center Contour Line)속성에서 곡선교차의 수직조건(Perpendicular Condition)을 부여하게 되면 처음의 선형보다 불룩하게 된다 (Fig. 8 참조).

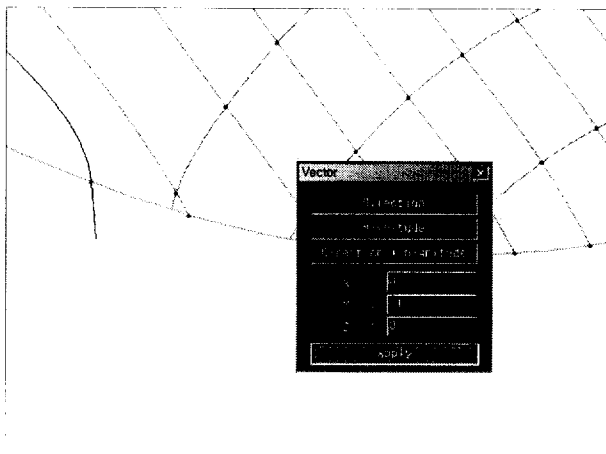


Fig. 8 WL에 벡터값 부여

따라서 기존의 선형을 유지하면서 이러한 조건을 충족하기 위해서, WL의 끝부분에 같이 데이터 Point의 추가가 불가피 해진다(Fig. 9 참조).

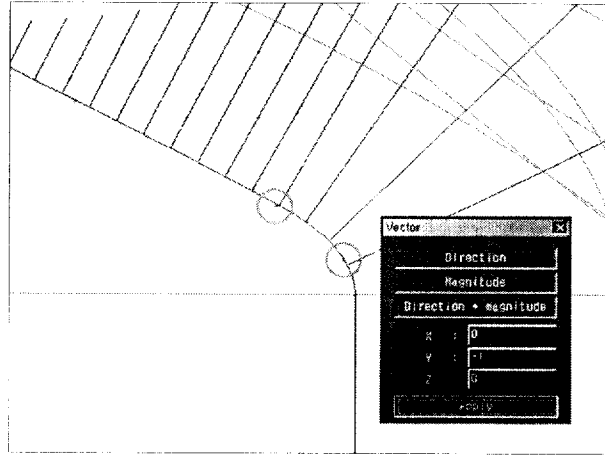


Fig. 9 추가된 Point와 수정된 벡터값

Fig. 10, 11은 평면도에서의 WL, SL, 센터라인을 나타내는 그림이다. 선수와 선미 형상의 표현에 있어 곡선의 속성을 부여할 수 있다. 곡선의 속성을 부여함으로써 그 곡선을 교차하는 다수 곡선의 끝벡터를 한번에 바꾸어 준다.

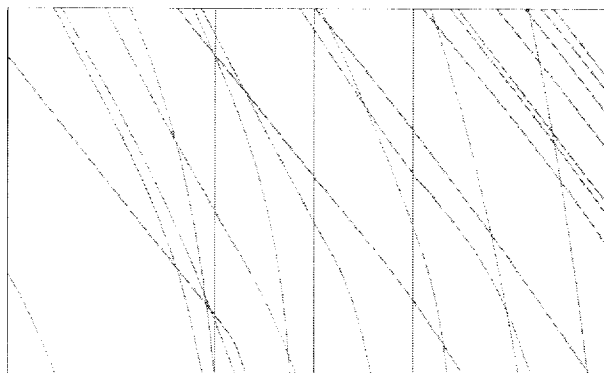


Fig. 10 끝벡터가 Free로 주어진 초기의 WL

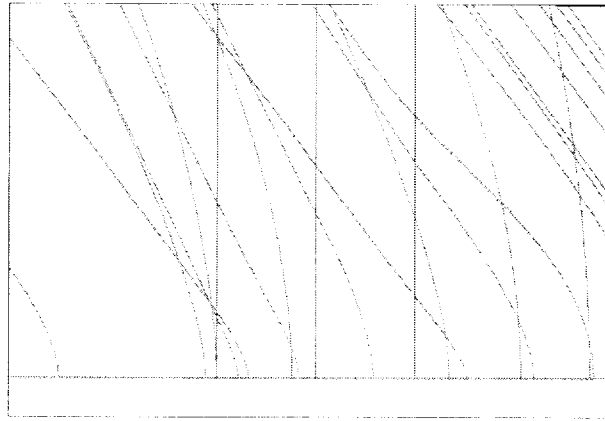


Fig. 11 끝벡터(End Vector)가 수정된 WL

선형의 CL에서, 곡선의 교차속성을 수직(Perpendicular)으로 부여하면, CL과 교차하는 WL의 끝벡터 값의 변화로 인해서 곡선들의 형상이 변하게 된다. Fig. 12는 수정 전과 수정 후의 차이를 나타내어 준다. Fig. 12에서 옅은 색의 곡선이 교차속성에 의해서 벡터값이 부여된 WL을 나타낸다.

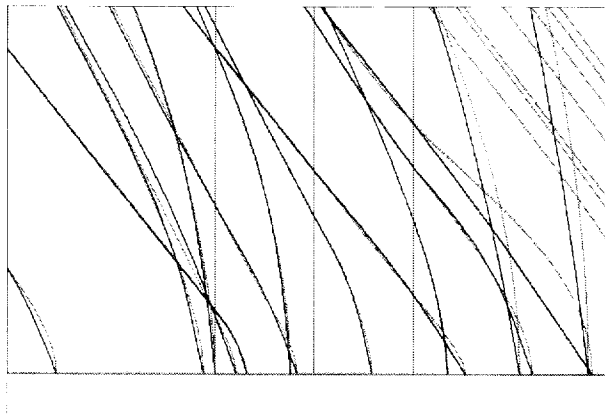


Fig. 12 초기의 WL과 수정된 WL의 차이

이처럼 곡선망의 순정에 있어서, 초기선형의 곡선형태를 유지하는 곡선망들의 순정은 많은 경험을 요하는 작업임이 틀림없다. 본 연구에서는 기존의 곡선망 순정기법을 보완하고, 순정된 선형의 순정도를 검토할 수 있는 몇 가지 방안을 제시하고자 한다.

3. 곡선망 순정도 향상을 위한 방안

순정된 곡선망을 사용하기 이전에, 순정의 정도를 파악하는 것이 중요하다. 이는 곡면을 생성 후에, 곡면의 순정도를 평가해서 수정 후 재생성하는 시간이 많이 걸리는 단점을 가지기 때문이다. 이러한 단점을 보완하기 위해서, 곡면을 생성하기 전에 사용하고자 하는 곡선망의 순정도를 평가하고 수정하여 정도 높은 곡선망 데이터를 이용해 곡면화하고자 한다. 이에 곡선망의 순정도를 직관적으로 확인해 볼 수 있는 방법을 제시해 보았다.

3.1 Inflection Point Display

초기선형의 데이터에서 변곡점을 찾고, 그 변곡점(Inflection Point)의 추이로 곡선의 순정도를 평가하는 방법으로 직관적인 선형의 오류를 확인할 수 있다.

SL의 곡률 분포에서 곡률이 변하는 변곡점을 가시화해서 나타내면 대략의 그 추세를 알 수가 있다. 추세의 흐름을 사용자가 직관적으로 보면서 선형의 순정도를 파악할 수가 있다.

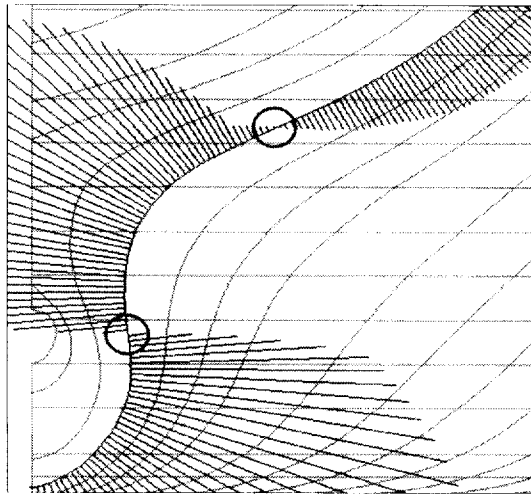


Fig. 13 곡률분포와 변곡점

또한 이 흐름의 사이를 유체가 흘러간다고 생각해 볼 수도 있다.(Fig. 14 참조)

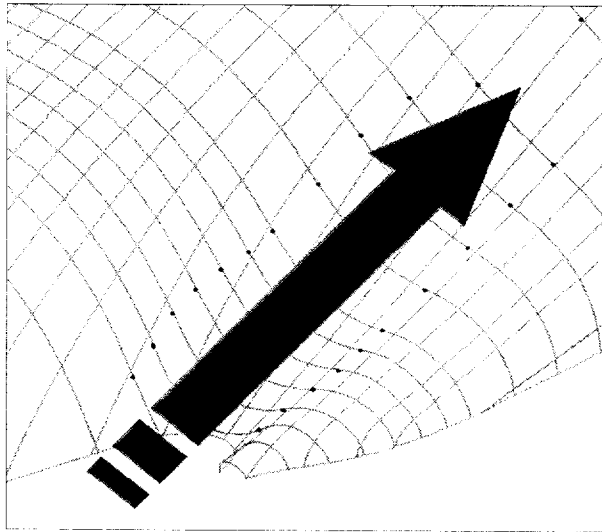


Fig. 14 변곡점의 추세선

Fig. 15는 변곡점을 선형 전체에 가시화한 그림이다.

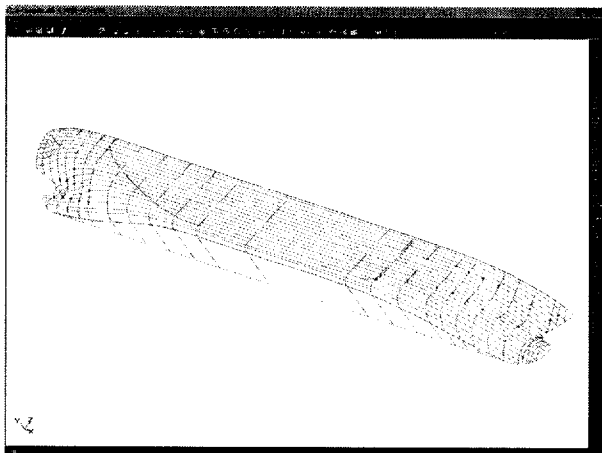


Fig. 15 Inflection point 가시화

3.2 Intersection Angle Display

Deck Line과 SL의 교차각을 XY-평면(X:선체의 길이방향, Y:각도)에 표기함으로써 순정의 정도를 파악할 수 있게 하며, 선형의 다른 특징을 파악할 수 있게 한다.

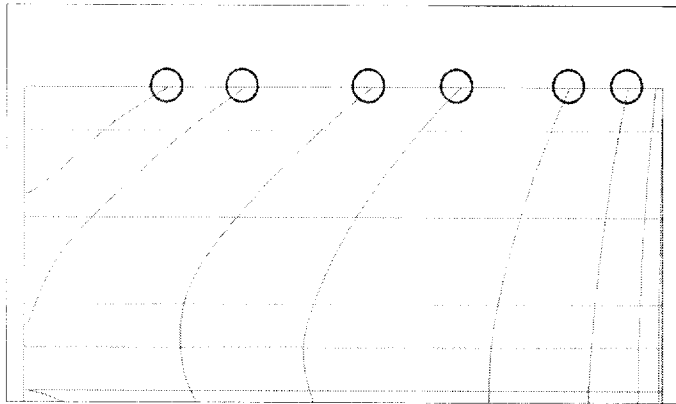


Fig. 16 정면도에서의 Deck Line과 SL의 교차각

Fig. 16에 표시된 부분에서, Deck Line과 SL의 교차각을 배의 길이방향 X축과 교차각 방향 Y축으로 이루어진 2차원 평면에 표현하면 Fig. 17과 같은 곡선을 얻을 수 있다. 완벽하게 순정이 된 선형의 경우 이 곡선도 부드럽게 변화하여야 한다. 따라서 이 곡선이 부드러워지도록 SL을 수정하여야 한다.

Fig. 17, 18에서 세로축은 교차각을 나타내고, 가로축은 선체길이 L을 의미한다.

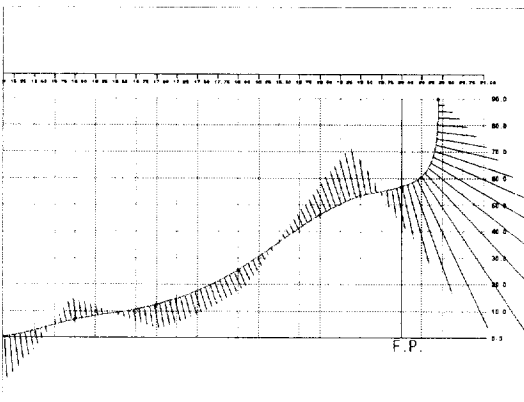


Fig. 17 Intersection Angle의 가시화

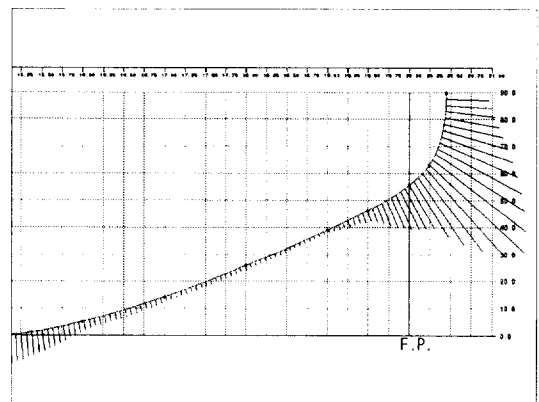


Fig. 18 순정된 후의 Intersection Angle

3.3 Diagonal Line Display

순정된 선형은 어느 부분에서 절단을 하여도, 그 절단면에 보이는 곡선들이 부드럽게 변화한다는 것인데 선수에서 선미까지의 Diagonal Line을 생성해서 전체적인 선형의 순정도를 평가하고자 하였다.

DLWL에서의 선수 끝점, 선미 끝점 그리고 10SL에서의 바텀 탄젠셜 라인(Bottom Tangential Line) 끝점을 기준으로 해서, 선수와 선미를 대각 방향으로 절단한다. Fig. 19, 20은 기준이 되는 절단면(노란색 사각형)을 보여준다.

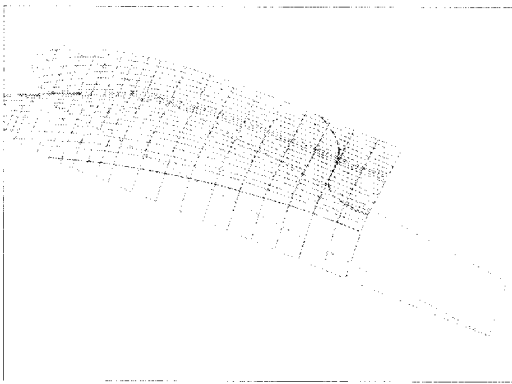


Fig. 19 Fwd Body 절단면

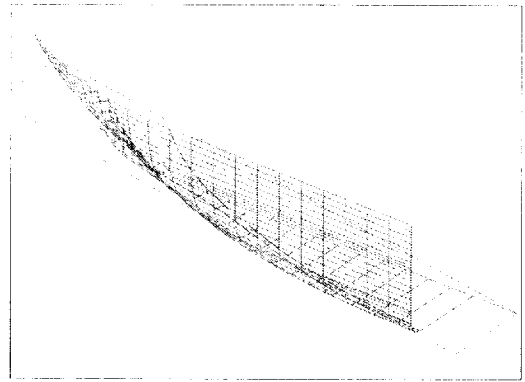


Fig. 20 Aft Body 절단면

Fig. 21은 절단면에 의해서 생성된 Diagonal Line을 보여준다.

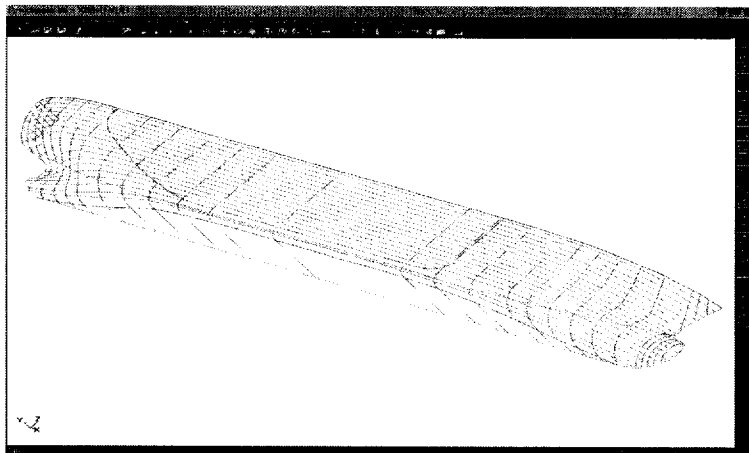


Fig. 21 Diagonal Line 생성

4. 곡면화

공학설계에 있어서 곡면의 기하학적인 형상을 효과적으로 표현하고 또 제작하는 문제는 오랜 기간 큰 관심의 대상이었다. 이는 공학적 설계대상을 3차원 곡면으로 직접 정의하게 되면 곡률 등과 같은 곡면의 성질을 쉽게 계산할 수 있으며 부피, 곡면면적, 탄성 모멘트 등과 같은 곡면에 관련된 물리량을 빠르게 그리고 쉽게 해석할 수 있기 때문이다.(윤태경, 1998)

선형의 오프셋(offset)표로부터 곡면을 얻고자 할 경우 오프셋 데이터의 특징을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 평면부와 곡면부가 동시에 존재한다.
- 2) 데이터들 간의 간격이 불균일하다.
- 3) 양방향(선수미 방향, 홀수 방향)으로 데이터 개수가 일정하지 못하다.
- 4) 선수나 선미의 경계곡선이 점 좌표로 표시된다.

1)의 특징은 한 곡면으로 피팅하면 정확한 평면부의 경계 표현을 어렵게 한다. 이런 경우 평면부를 제외하고 곡면부만 먼저 생성하고 나중에 평면부와 접합하는 방법을 생각할 수 있다.

2), 3)의 경우는 곡면 피팅방법을 바로 적용할 수 없게 한다. 이는 곡면 피팅방법의 경우 각 방향으로 데이터 개수가 일정해야 하며, 그 간격도 대개 일정하여야 좋은 결과를 주기 때문이다. 이러한 문제는 적절한 방법을 이용하여 데이터들을 재배치하면 어느 정도 극복할 수 있다. 그러나 재배치를 하더라도 균일 B-spline을 사용하기에는 양방향으로 데이터 간격이 균일하지 못하므로 곡면 모델링에 사용할 수 있는 표현방법으로 비균일 B-spline밖에 없게 된다. 김원돈 등(1991)은 데이터를 재배치하여 균일 B-spline 곡면을 이용하여 곡면화한 바가 있으나, 선수미부와 중앙평행부 근처에서의 곡면표현이 정확하지 못하였다.

4)의 경우를 정확히 해결하기 위해서는 점들로 곡면을 얻는 방법을 고려하여야 한다.

즉, 경계곡면이 주어질 때 곡면들의 연속조건을 고려하여 경계곡선을 보간하는 방법을 의미한다.

경계곡선을 이용한 곡면화는 입력 데이터로 주어지는 경계곡선이 전체적으로 부드럽게 이어졌는가, 혹은 단절(segment)되었는가를 나타내는 곡선의 성질과 그 경계곡선들로 이루어진 면조각의 기하학적 모양에 따라 보간 방법을 다르게 적용한다. 보간 방법에는 Hermite blending Coons 면조각, Convex 조합(combination), 삼각(triangular) Bezier, Gregory 면조각 방법 등이 있다.

본 논문에서는 Hermite 혼합 Coons 면조각을 이용하여 내부의 점들을 구한 다음 Remeshing을 하고, 이를 통해 생성된 자료점을 이용하여 NUB 곡면을 생성하였다.

4.1 곡면화 이론

경계곡선을 이용한 곡면화의 방법으로 NUB 곡면을 생성하였다. 이는 사각형 면조각에 대해서만 곡면화가 이루어진다는 단점이 있으나 타 CAD 프로그램과의 정보교환을 위해서는 반드시 NURBS로 곡선과 곡면으로 변환하여야한다는 점에서 Non-Uniform Cubic B-spline은 장점을 가진다.

4.1.1 NUB 곡면 생성

Non-Uniform Cubic B-spline 곡면은 조작 없이 바로 NURBS 곡면으로 변환이 가능하다. 곡면은 $(m+1) \times (n+1)$ 개의 공유점(mesh points) $\{P_{ij}\}$ 와 u, v 방향의 교차경계 접선벡터 $s_{0,j}, \hat{s}_{m,j}$ ($j=0, \dots, n$), $\hat{t}_{i,0}, \hat{t}_{i,n}$ ($i=0, \dots, m$), 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.(최병규, 1991)

1) 노트간격의 결정(Determine the knot spans)

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

$$\begin{aligned}\Delta_i &= \sum_{j=0}^n |P_{i+1,j} - P_{i,j}| \quad \text{for } i=0, 1, \dots, m-1, \\ \nabla_j &= \sum_{i=0}^m |P_{i,j+1} - P_{i,j}| \quad \text{for } j=0, 1, \dots, n-1. \\ \Delta_{-2} &= \Delta_{-1} = 0, \quad \Delta_{m+1} = \Delta_m = \Delta_{m-1} \\ \Delta_{-2} &= \Delta_{-1} = 0, \quad \Delta_{n+1} = \Delta_n = \Delta_{n-1}.\end{aligned}$$

2) 중간조절점의 결정(Find intermediate control point)

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.

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

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(Determine boundary vectors)

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

$$\begin{aligned}d_i &= 3(V_{i,1} - V_{i,0}), \\ e_i &= 3(V_{i,n+2} - V_{i,n+1}).\end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}f_i d_i + (1-f_i-g_i)d_{i+1} + g_i d_{i+2} &= \hat{\gamma}_{i,0}; \quad \text{for } i=0, \dots, m \\ f_i e_i + (1-f_i-g_i)e_{i+1} + g_i e_{i+2} &= \hat{\gamma}_{i,n}; \quad \text{for } i=0, \dots, m.\end{aligned}$$

모서리에서 교차 도함수를 계산하여 다음의 관계식을 얻는다.

$$\begin{aligned} 3(d_1-d_0) &= \hat{x}_{00} \ ; \ 3(d_{m+2}-d_{m+1}) = \hat{x}_{m0} \\ 3(e_1-e_0) &= \hat{x}_{0n} \ ; \ 3(e_{m+2}-e_{m+1}) = \hat{x}_{mn}. \end{aligned}$$

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

4) 조절점의 결정(Determine B-spine control vertices)

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.

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

4.1.2 Hermite 혼합(blending) Coons 면조각의 정의

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

$$\begin{aligned} r(i, v) &= a_i(v) & : & \quad i = 0, 1 \\ \text{경계조건} \quad r(u, j) &= b_j(u) & : & \quad j = 0, 1 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} r_3(0, v) &= (1-v) b_0(0) + v b_1(0) & r_3(1, v) &= (1-v) b_0(1) + v b_1(1) \\ &= (1-v) P_{00} + v P_{01} & &= (1-v) P_{10} + v P_{11} \end{aligned}$$

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

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

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

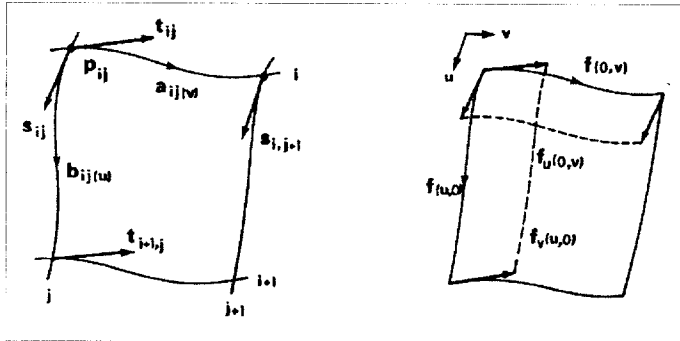


Fig. 22 Estimation of Cross-Boundary Tangent function

Fig. 22에서 $s_i(v)$ 와 $t_i(u)$ 가 각각 경계곡선 $a_i(v)$ 와 $b_i(u)$ 를 따라가는 교차경계접선을 나타낸다고 하자. 마주보는 경계곡선 $a_0(v)$, $a_1(v)$ 와 교차경계접선 $s_0(v)$, $s_1(v)$ 를 가지고 Fig. 23의 Hermite 혼합 Lofted 곡면이 표현된다.

$$r_1(u, v) = \alpha_0(u) a_0(v) + \alpha_1(u) a_1(v) + \beta_0(u) s_0(v) + \beta_1(u) s_1(v)$$

$$\text{Where, } \alpha_0(u) = H_0^3(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)$$

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

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

$$\beta_0(u) = H_3^3(u) = (3u^2 + 2u^3)$$

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

$$r_2(u, v) = \alpha_0(v) b_0(u) + \alpha_1(v) b_1(u) + \beta_0(v) t_0(u) + \beta_1(v) t_1(u)$$

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

$$x_{ij} = \partial^2 \chi(u, v) / \partial u \partial v \big|_{u=i, v=j} \quad x_{ij} = \partial^2 \chi(u, v) / \partial v \partial u \big|_{u=i, v=j}$$

$$= \partial s_i(v) / \partial v \big|_{v=j} \quad = \partial t_i(u) / \partial u \big|_{u=j}$$

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

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

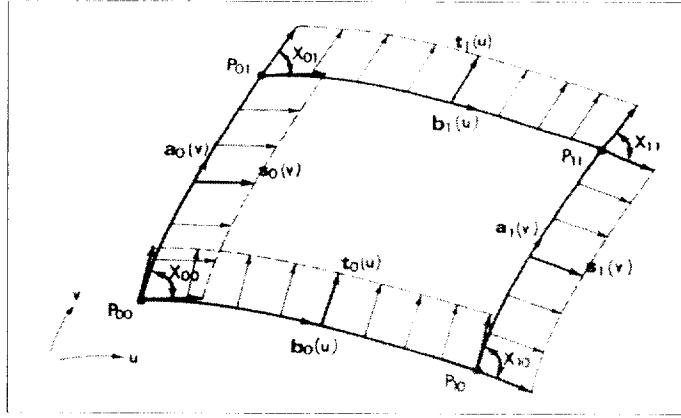


Fig. 23 Hermite blended Coons Patch

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
\text{Where,} \quad \alpha_0(u) &= (1 - 3u^2 + 2u^3) \\
\beta_0(u) &= (u - 2u^2 + u^3) \\
\beta_1(u) &= (-u^2 + u^3) \\
\beta_0(u) &= (3u^2 + 2u^3) \\
a_i(v), \quad b_j(u) &: \text{boundary curve} \\
P_{ij}, \quad x_{ij} &: \text{position and twist vectors at patch corners}
\end{aligned}$$

Fig 22에서 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 끝접선의 평균을 구하는 것이다.

$$\begin{aligned}
s_{ij} &= \{ b'_{ij}(0) + b'_{i-1,j}(1) \} / 2 \\
t_{ij} &= \{ a'_{ij}(0) + a'_{i,j-1}(1) \} / 2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Where } a'_{ij}(0) &\equiv \partial a_{ij}(v) / \partial v |_{v=0} \\
b'_{ij}(0) &\equiv \partial b_{ij}(v) / \partial u |_{u=0}
\end{aligned}$$

두 개의 공유점 접선의 Hermite 혼합함으로써 교차경계접선을 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
s_{ij}(v) &= \alpha(v) s_{ij} + \beta(v) s_{i,j+1} \\
T_{ij}(u) &= \alpha(u) t_{ij} + \beta(u) t_{i+1,j}
\end{aligned}$$

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

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

그러므로 Fig 22에서 사각형 영역에 대한 Hermite 혼합 Coons 면조각은 다음과 같이 정의된다.

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

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

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

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

$$\text{Where,} \quad \alpha(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)$$

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

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

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

$$f(i, v), \ f(u, j) \text{ for } i, j = 0, 1 : \text{boundary curves}$$

$$f_u(i, v), \ f_v(u, j) \text{ for } i, j = 0, 1 : \text{cross-boundary tangent}$$

4.2 경계곡선을 이용한 NUB 곡면 피팅(Fitting)

곡면 피팅이란 주어진 자료점에서 조절점을 구해내는 작업이다. $(m+1) \times (n+1)$ 개의 공유점 $\{P_{ij}\}$ 와 u, v 방향의 교차경계 접선벡터 $s_{0,j}, \hat{s}_{m,j}$ ($j=0, \dots, n$), $\hat{t}_{i,0}, \hat{t}_{i,n}$ ($i=0, \dots, m$), 그리고 모서리 공유점(corner mesh points)에서의 비틀림벡터 $\hat{x}_{00}, \hat{x}_{m0}, \hat{x}_{0n}, \hat{x}_{mn}$ 이 주어지면 4.1.2절에서 설명한 방법을 거쳐 NUB 곡면이 생성된다. 즉 곡면 상에서 시작벡터와 끝벡터가 존재하기 위해서는 u 방향과 v 방향 각각의 경계곡선상의 자료점 개수가 같아야만 한다.

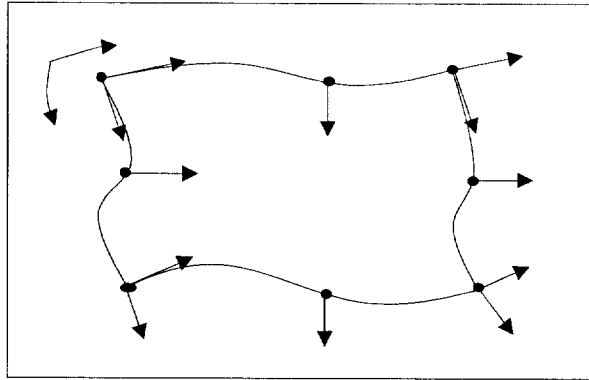


Fig 24 NUB Surface generation

4.2.1 자료점 정렬

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.

4.2.2 산출점(Generation Points)의 생성

경계곡선을 구성하는 각각의 곡선 상에 산출점(Generation Point)을 등간격으로 발생시킨다. 여기서 산출점이란 원래의 곡선 형상을 유지하기 위해 최소한의 개수를 가지는 점들을 의미하는데 기본적으로 원래 경계곡선에 포함된 자료점의 개수를 기준으로 한다. Fig. 26 에서는 산출점이 생성된 모습을 보이고 있다.

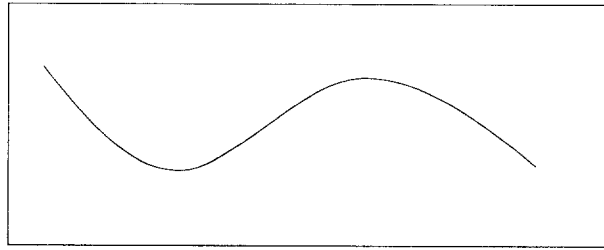


Fig 25 Original boundary curve

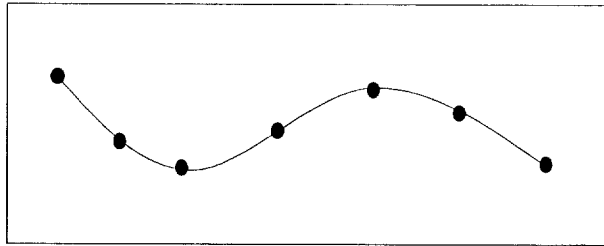
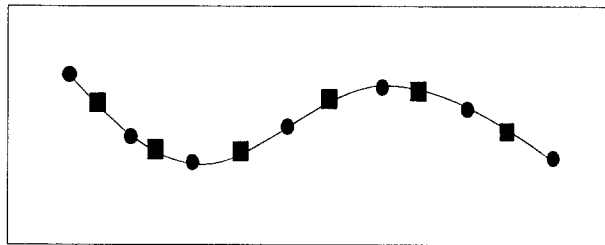


Fig 26 Make generation point

4.2.3 정확도 확인



● : 산출점

■ : 오차허용도(Tolerance) 확인점

Fig 27 Setting and check of tolerance

Fig 27에서와 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.

4.2.4 산출점 개수 일치

4.2.3절과 같은 방법으로 각 면조각의 경계곡선 상에 오차허용도를 만족하는 산출점이 정의되었다. 그런데 면조각에서 각 방향 별 경계곡선의 곡선식이 서로 일치하지 않으므로 Fig 28과 같이 곡선의 형상을 유지하기 위한 산출점의 최소 필요 개수가 달라진다.

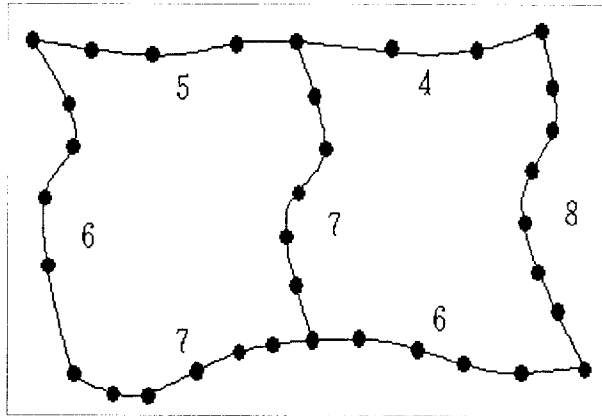


Fig. 28 Discordance of Generation point number

산출점의 개수를 일치시키기 위해서 각 방향 별 경계곡선 중에서 가장 많은 산출점의 개수와의 차이만큼 해당 곡선에 추가적으로 생성하게 된다(Fig. 29 참조).

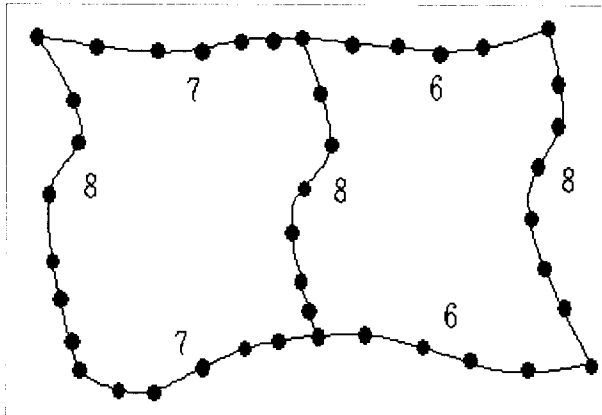


Fig. 29 Accordance of generation point number

각각의 산출점은 곡선의 형상을 결정하는 최소개수의 점이기 때문에 곡선이 생성된 후에 점들이 추가로 정의되어도 곡선의 형상에는 차이가 없다.

4.2.5 내부 자료점의 결정

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

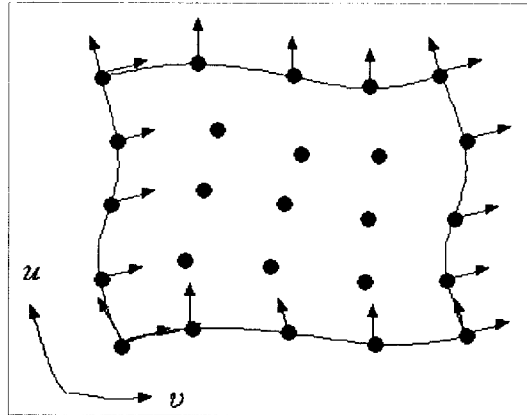


Fig. 30 Generation of internal data point

Fig. 30과 같이 Hermite 혼합 함수를 이용하여 내부의 점들을 구한 다음 Remeshing 한다. 이를 통해 생성된 자료점을 이용하여 NUB 곡면을 생성하게 된다. (Fig. 31 참조)

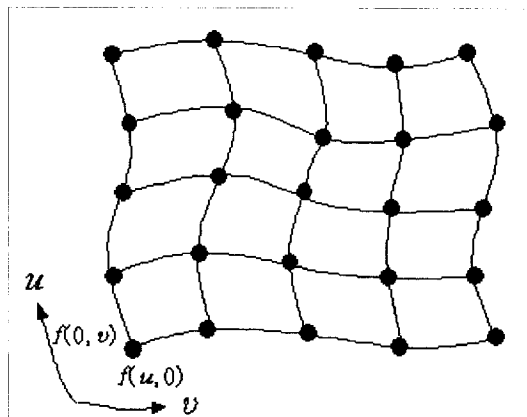


Fig. 31 Remeshing by means of internal point

4.3 제안된 곡면화과정

4.3.1 이전의 방법

Fig. 32에서 보는 것과 같이 선형은 매우 복잡한 형상으로 구성되어 있어 하나의 곡면 Patch로 표현하기에는 많은 어려움이 따른다. 이준호(2002)는 선수벌브와 선수벌브를 제외한 6개의 구역으로 나누어 곡면화를 실시하였다.

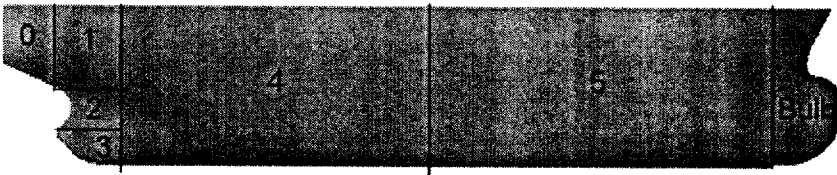


Fig. 32 Hull Division for Surface Modeling

선수 벌브(Bulb)의 경우, SL과 WL을 이용하여 다수의 사각형 패치를 생성하면, 벌브 하단에 삼각형 패치가 남게 된다. 이 삼각형 패치의 경우, 그 형상 정의에 어려움이 따르므로 사각형 곡면과 함께 고려되어야 한다. 이준호(2002)는 삼각형 패치를 생성하기 위해 Hermite Coons 면조각에서 4개의 모서리 점 중에서 이웃한 두 점을 한 점으로 일치시키는 방법을 이용하였다.

Fig. 33에서 보는 바와 같이, 이준호(2002)는 한 개의 삼각형 패치를 표현하기 위해, Hermite Blending Coons 면조각에서 4개의 모서리 점 중에서 이웃한 두 점을 한 점으로 일치시켜 삼각형 패치를 표현하였다.

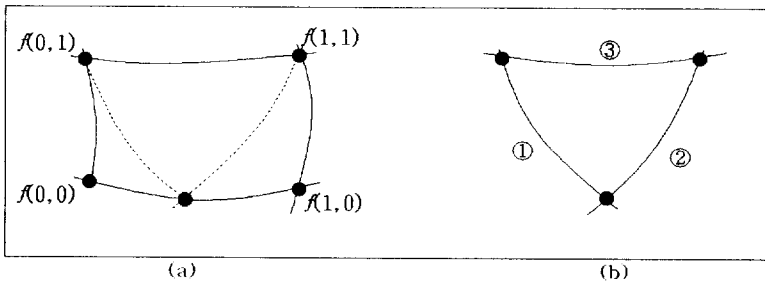


Fig. 33 Hermite Coons 면조각을 이용한 삼각형 패치생성

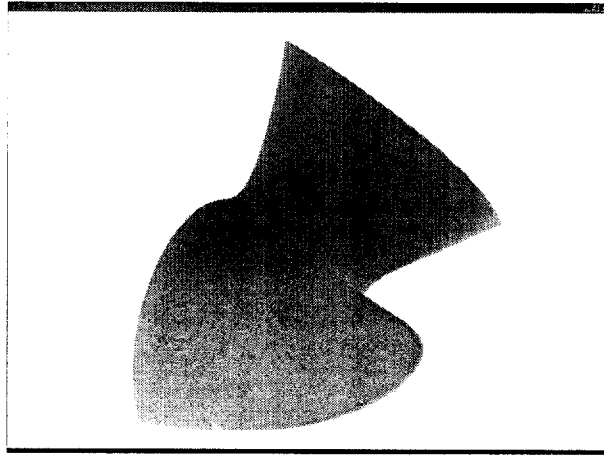


Fig. 34 Shading of bulb

Fig. 34는 이준호(2002)가 제안한 곡면화 방법론에 의해 생성된 선수 밸브의 형상이다. Fig. 35는 선수 밸브 하단에 위치한 작은 삼각형 패치를 따로 생성한 그림을 나타낸다.

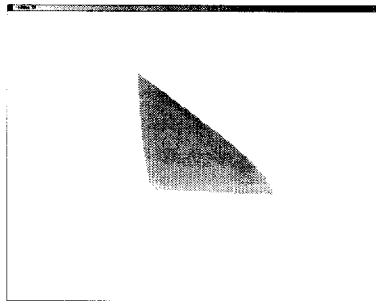


Fig. 35 Shading of triangle patch

이처럼 이준호(2002)의 연구에서, 선형을 선수 밸브를 제외한 6개의 구획으로 나누어 곡면화 하는 방법론을 제시하였지만 사각형 패치를 생성하고 다시 삼각형 패치를 생성하는 번거로움을 보여주었다.

따라서 본 연구에서는, 반쪽의 선형데이터에서 새로운 데이터 DB를 생성한 후, 자료점의 개수와 경계곡선을 가지는 사각형 패치를 한번에 만들어주는 선수형상 곡면화 방법론을 제시하고자 한다.

4.3.2 선수형상 순정과 곡면화

Step 1. 데이터 준비단계

기존의 곡선 피팅은 주어진 데이터를 통해서 WL, SL, DL, CL(Center Line), KL(Knuckle Line)을 피팅하고, 1차 순정을 실시한다. 하지만, 본 연구에서 곡면화 대상은, 기존의 데이터에서 가공을 한 데이터로 구성된다. 선수 형상은 CL, WL, BL만으로 구성된다.

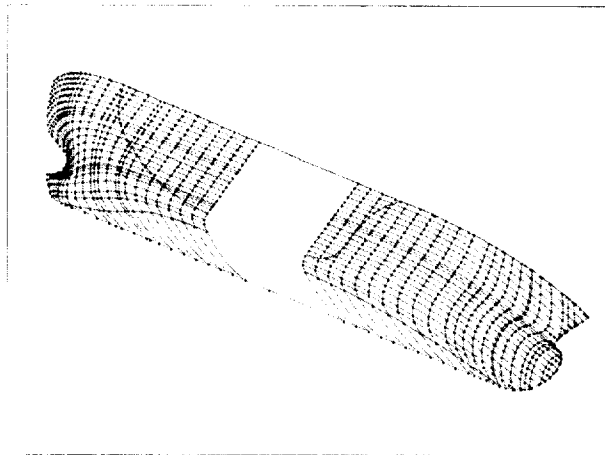


Fig. 36 데이터 Point와 곡선으로 이루어진 선형

전체의 선형 중에서 우선 FP만 고려한다. Fig. 37은 Fig. 36 선형에서 FP만 나타낸 것이다. 선박의 대칭성을 이용해, 반쪽의 선형데이터를 곡선망으로 피팅하고 정보가 필요한 곡선들을 생성해준다. 선수형상 중에서 같은 간격에서 곡률의 변화가 심한 부분은 데이터 간격을 조절해줌으로써 선형을 좀 더 자세히 표현하였다.

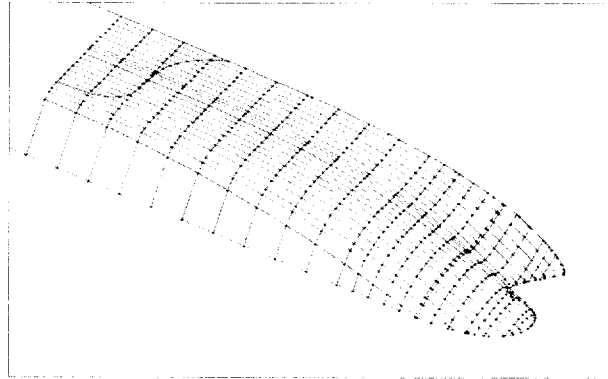


Fig. 37 선체의 FWD Part

Step 2. 곡선망 순정

곡선망 순정은 기본적으로 교차순정을 사용하였다. SL의 곡률분포를 보면서 수정하고자 하는 데이터점을 선택함으로써 그 데이터점을 통과하는 WL까지 동시에 수정할 수 있다. 수정시 Move Node, Omit Node, Step 등의 메뉴를 통해서 데이터점을 이동시킬 수 있다(Fig. 38 참조).

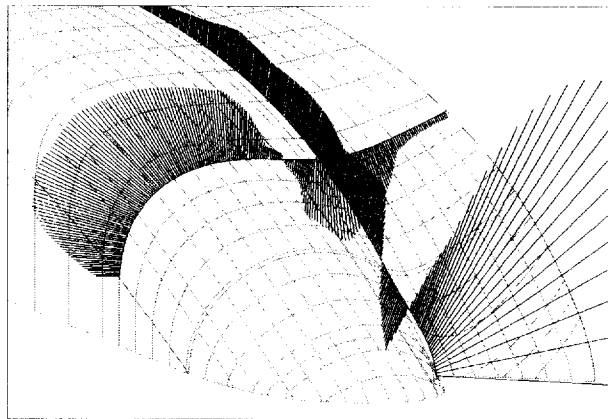


Fig. 38 선수형상의 곡선망 교차순정

Step 3. 곡선망 피팅

기존의 선형 데이터로부터 오프셋 표(Offset Table)를 작성하면 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Model B의 Offset Table

	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
-8.0	156.0728	156.9111	158.0490	158.7663	159.1492	159.2281	159.0363	158.5286
-7.0	157.4594	158.1314	160.2111	160.9257	161.3065	161.3733	161.1454	160.5736
-6.0	159.6705	161.2208	162.2570	162.9727	163.3576	163.4104	163.1540	162.4641
-5.0	161.7179	163.2130	164.2234	164.9366	165.3136	165.3624	165.0881	164.3597
-4.0	163.0999	165.1309	166.3333	166.8360	167.2100	167.2450	166.9533	166.1857
-3.0	165.5485	166.9846	167.9845	168.6899	169.0424	169.0700	168.7663	167.9814
-2.0	167.3366	168.7818	169.8069	170.4253	170.9305	170.9335	170.5357	169.7465
-1.0	169.2699	170.5220	171.5085	172.1181	172.4411	172.5067	172.2653	171.4659
-0.5	169.9240	171.3476	172.2795	172.8480	173.1425	173.2021	172.9076	172.1129
0.0	170.2213	171.8092	172.6411	173.1676	173.4535	173.5141	173.3247	172.7275
0.5	169.9240	171.3476	172.2795	172.8480	173.1425	173.2021	172.9076	172.1129
1.0	169.0509	170.5220	171.5085	172.1181	172.4411	172.5067	172.2653	171.4659
2.0	167.3366	168.7818	169.8069	170.4253	170.9305	170.9335	170.5357	169.7465
3.0	165.5485	166.9846	167.9845	168.6899	169.0424	169.0700	168.7663	167.9814
4.0	163.0999	165.1309	166.3333	166.8360	167.2100	167.2450	166.9533	166.1857
5.0	161.7179	163.2130	164.2234	164.9366	165.3136	165.3624	165.0881	164.3597
6.0	159.6705	161.2208	162.2570	162.9727	163.3576	163.4104	163.1540	162.4641
7.0	157.4594	158.1314	160.2111	160.9257	161.3065	161.3733	161.1454	160.5736
8.0	156.0728	156.9111	158.0490	158.7663	159.1492	159.2281	159.0363	158.5286

Table 2 Model B의 Offset Table2

	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
-8.0	158.0022	157.6142	157.5440	157.7773	158.3620	159.3684	160.6229	162.1067
-7.0	158.7877	159.2409	159.1363	159.3733	159.9854	160.9818	162.2508	163.8221
-6.0	161.4342	160.7736	160.5909	160.9473	161.4700	162.4653	163.7550	165.2949
-5.0	163.0322	162.1402	161.9804	162.2253	162.8441	163.8453	165.1302	166.6301
-4.0	164.7179	163.6952	163.4274	163.5273	164.1042	165.1404	166.4040	167.8218
-3.0	166.5895	165.4332	164.8772	164.7667	165.2686	166.3961	167.6073	168.9897
-2.0	166.1715	166.7965	166.1359	165.9659	166.4170	167.5342	168.7054	169.8778
-1.0	166.2224	167.5210	167.1531	167.1264	167.8506	168.9512	169.7651	170.7154
-0.5	165.6168	167.6772	167.5600	167.7127	168.2742	169.1784	170.1175	170.9099
0.0	165.8209	167.9000	167.8270	168.2087	168.8133	169.5907	170.3415	171.0672
0.5	165.6168	167.6772	167.5600	167.7127	168.2742	169.1784	170.1175	170.9099
1.0	165.2224	167.5210	167.1531	167.1264	167.8506	168.9512	169.7651	170.7154
2.0	164.1715	166.7965	166.1359	165.9659	166.4170	167.5342	168.7054	169.8778
3.0	162.5895	165.4332	164.8772	164.7667	165.2686	166.3961	167.6073	168.9897
4.0	164.7179	163.6952	163.4274	163.5273	164.1042	165.1404	166.4040	167.8218
5.0	161.4342	160.7736	160.5909	160.9473	161.4700	162.4653	163.7550	165.2949
6.0	158.7877	159.2409	159.1363	159.3733	159.9854	160.9818	162.2508	163.8221
7.0	158.0022	157.6142	157.5440	157.7773	158.3620	159.3684	160.6229	162.1067

표에서 가로축은 선체의 높이 Z축의 값을 나타내며, 세로축은 선체의 폭 Y축의 값을 나타낸다. 두 축이 만나는 칸의 값은 선체의 길이 X축의 값을 나타낸다. 벌브를 가지는 선수에서 WL과 BL을 1M 간격으로 자른 후 각 곡선들이 교차하는 점을 오프셋 표에 기입하였다. 오프셋 표를 근거로 하여 곡선을 피팅하면 Fig. 39와 같이 선수부분의 곡선망이 생성된다.

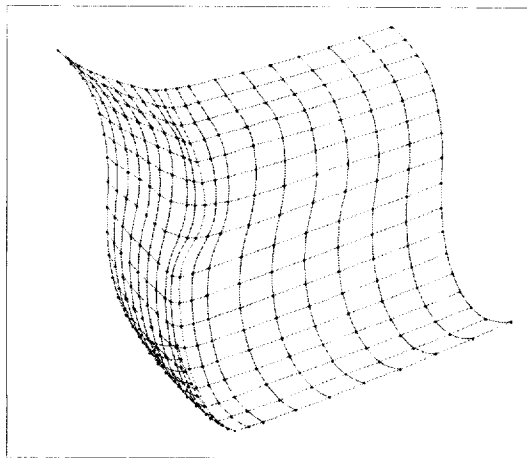


Fig. 39 생성된 선수형상 곡선망

Step 4. 곡면화

Hermite 혼합함수를 이용해 자료점을 생성하고 Remeshing한다. 선수형상이 각각의 곡선망 안에서 4개의 데이터 Point와 끝벡터, 시작벡터를 가지게 된다.

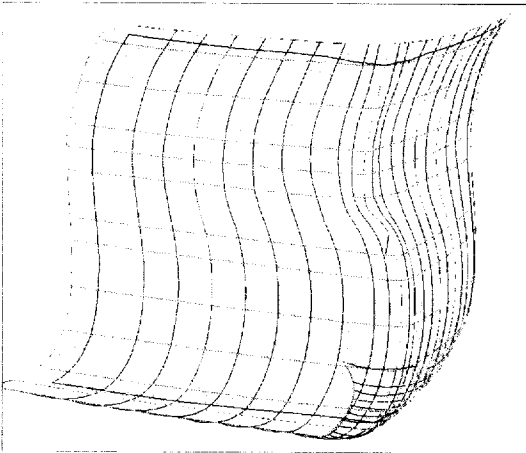


Fig. 40 곡면화 단계 전 선수형상

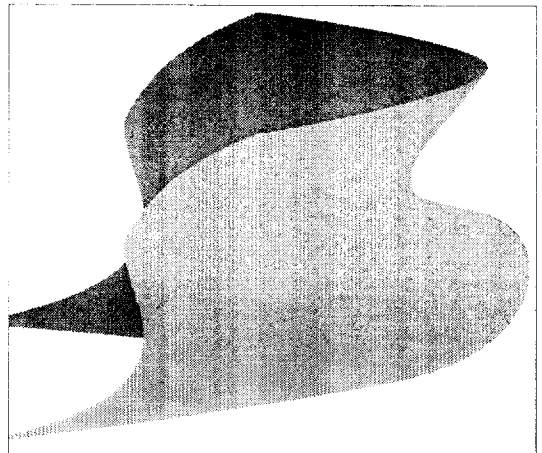


Fig. 41 생성된 곡면1

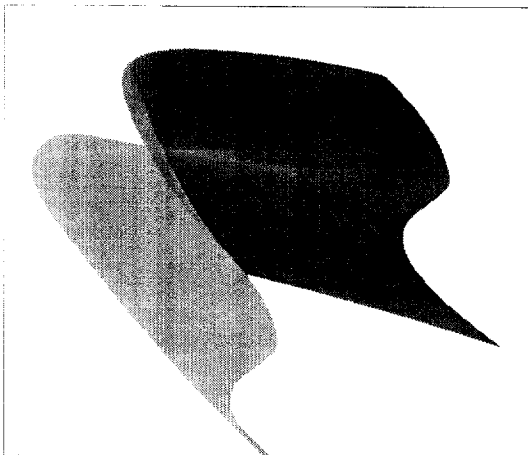


Fig. 42 생성된 곡면2

5. 곡면의 품질 분석

곡면품질분석은 설계 의도의 반영 정도와 곡면 순정 정도라는 두 가지 관점에서 수행되어야 한다. 설계의도의 반영은 곡면 생성을 위한 기준 곡선의 적절한 선정과 적용된 곡면식의 타당성 여부를 판단할 수 있는 기초 자료가 되며, 순정도는 곡면의 가공 또는 성형측면에서 불량한 곡면을 조기에 발견하여 후행과정의 시행착오를 최소한으로 줄이고자 하는 의도로 사용된다(김원돈 등, 1991).

본 연구에서는, CATIA Program을 사용하여, 광원에 의한 빛의 반사형태를 모의함(Simulation)으로 곡면의 품질을 분석하는 방법으로 곡면의 품질 분석을 수행하였다.

5.1 개요

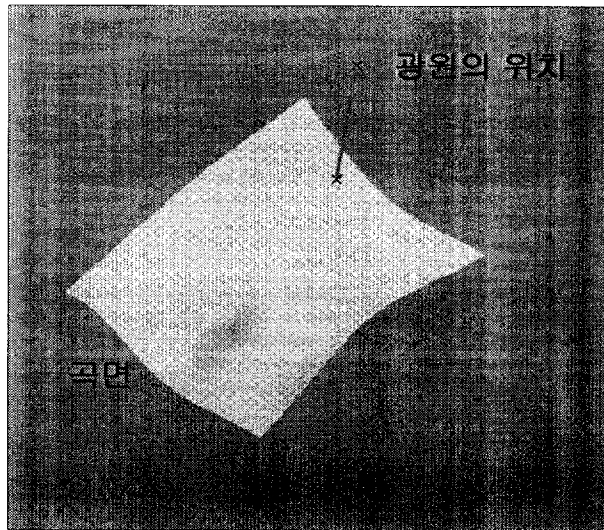


Fig. 42 곡면과 광원의 위치

주어진 한 곡면에 광원을 주면 빛의 반사형태들이 곡선으로 나타나게 된다. Fig. 42에서 보는 바와 같이 주어진 곡면에 광원을 위치시키고 광원을 따른 각각의 반사선들이 나타나게 되는데 이를 이용해 곡면의 품질분석을 수행하였다. Fig. 43은 주어진 광원에서 20도의 각도를 가지는 반사선들을 표시한 것이다.

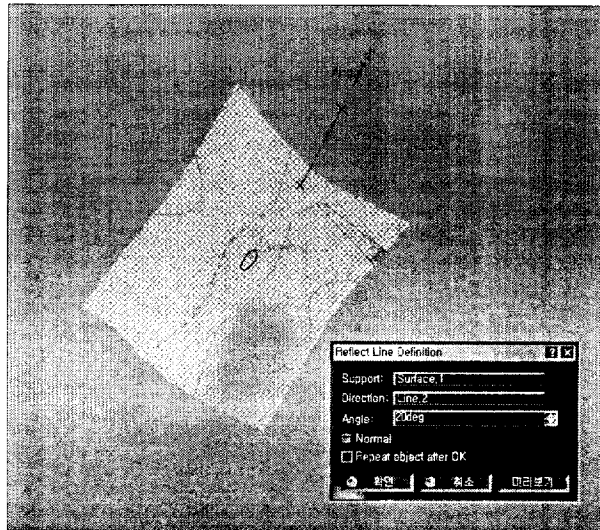


Fig. 43 광원의 각에 의한 RL

이 곡선은 곡면의 법선벡터와 광원벡터가 이루는 각도에 의해 정의되며, 빛의 반사형태가 곡면의 법선벡터에 의존하므로 한 번 미분한 특성을 갖는다. 광원의 각도에 따라 순차적으로 반사선을 생성하게 되면, Fig. 44, 45와 같은 결과를 얻을 수 있다.

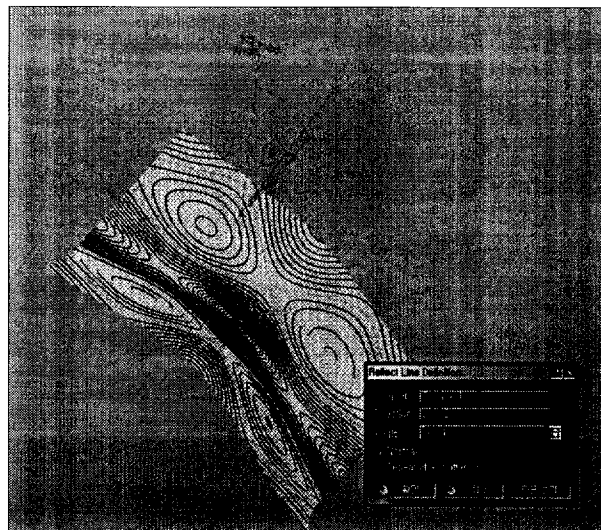


Fig. 44 각도에 따른 RL 생성

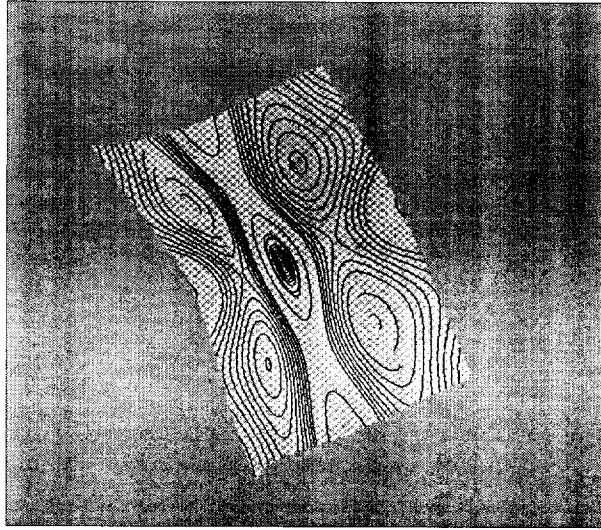


Fig. 45 RL의 생성결과

위와 같은 방법의 반사선에 의한 곡면의 품질분석은 계산결과를 곡선으로 얻을 수 있고, 생성된 결과곡선들을 조작하여 곡면을 순정하는 데 역이용할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

5.2 실제 사용 예

4장에서 곡면의 생성과 생성된 곡면의 품질분석의 과정대로 실제 모델에 적용해 보았다.

5.2.1 Model A : 완만한 곡률의 벌브를 가지는 선형

< 제원 > Lbp : 262.0 M, B : 44.0 M, D : 23.2 M, DLWL : 15.0 M

Fig. 46, 47은 Model A의 전체와 선수파트를 보여준다.

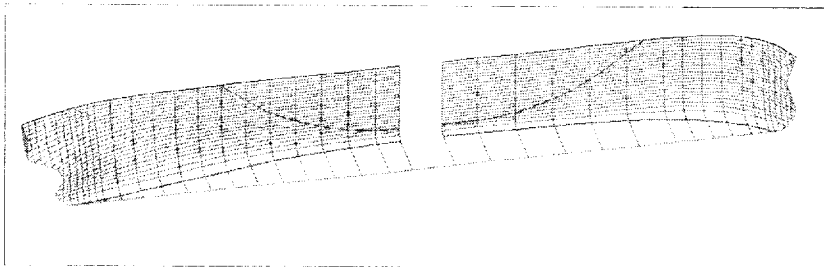


Fig. 46 Model A의 전체선형

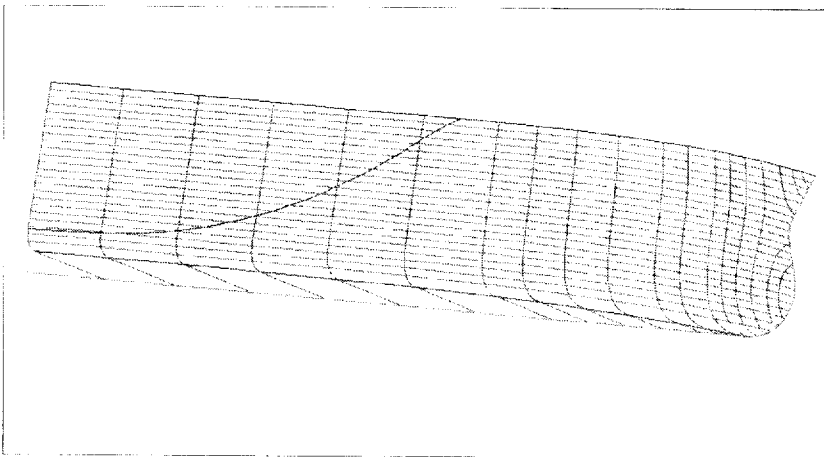


Fig. 47 Model A의 선수파트(FP)

아래의 Table 3, 4, 5, 6, 7, 8은 Model A의 오프셋 표이며, 선수형상의 BL과 WL을 1M 간격으로 설정하였다.

Table 3 Model A의 Offset Table1

	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
-10.0	247.4856	249.2577	251.1614	252.3469	253.1557	253.7151	254.1095	254.3864
-9.0	249.0514	250.6973	252.4913	253.6200	254.3829	254.9067	255.2721	255.5240
-8.0	250.4788	252.0181	253.7279	254.8061	255.5283	256.0203	256.3575	256.5860
-7.0	258.0227	259.1119	260.3268	261.1222	261.6640	261.9915	262.1201	262.0454
-6.0	252.9876	254.3685	255.9599	256.9522	257.6068	258.0424	258.3322	258.5045
-5.0	254.0883	255.4315	256.9688	257.9240	258.5418	258.9599	259.2252	259.3616
-4.0	255.1405	256.4331	257.9192	258.8258	259.4121	259.8113	260.0453	260.1355
-3.0	256.1581	257.3570	258.8099	259.5516	260.2273	260.5875	260.7886	260.8267
-2.0	256.9786	258.1748	259.5891	260.3879	260.9247	261.2763	261.4528	261.4495
-1.0	258.0227	259.1119	260.3268	261.1222	261.6640	261.9915	262.1201	262.0784
-0.5	257.8165	259.0334	260.2659	261.0599	261.5460	261.9361	262.0692	262.0331

Table 4 Model A의 Offset Table2

	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
-10.0	254.5772	254.7041	254.7878	254.8447	254.8896	254.9333	254.9839	255.0519
-9.0	255.6922	255.7956	255.8563	255.8897	255.9114	255.9286	255.9517	255.9912
-8.0	256.7281	256.8015	256.8292	256.8313	256.8219	256.8129	256.8122	256.8310
-7.0	261.8865	261.5839	261.2177	260.8231	260.4279	260.0356	259.6561	259.4430
-6.0	258.5745	258.5632	258.4949	258.3994	258.3049	258.2304	258.1843	258.1717
-5.0	259.9809	259.3189	259.1950	259.0337	258.8941	258.7630	258.6747	258.6296
-4.0	260.1020	259.9646	259.8039	259.5835	259.3872	259.1908	259.0470	258.9586
-3.0	260.7380	260.5578	260.3189	260.0596	259.7849	259.5269	259.3212	259.1878
-2.0	261.2972	261.0448	260.7371	260.4542	260.0869	259.7791	259.5096	259.3363
-1.0	261.8865	261.5839	261.2177	260.8231	260.4279	260.0356	259.6561	259.4430
-0.5	261.8372	261.5406	261.1683	260.7363	260.3724	260.0090	259.6470	259.4368

Table 5 Model A의 Offset Table3

	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
0.0	258.0227	259.1119	260.3268	261.1222	261.6640	261.9915	262.1201	262.0784
0.5	257.8165	259.0334	260.2659	261.0599	261.5460	261.9361	262.0692	262.0331
1.0	258.0227	259.1119	260.3268	261.1222	261.6640	261.9915	262.1201	262.0784
2.0	256.9786	258.1748	259.5891	260.3879	260.9247	261.2763	261.4528	261.4495
3.0	256.1581	257.3570	258.8099	259.5516	260.2273	260.5875	260.7886	260.8267
4.0	255.1405	256.4331	257.9192	258.8258	259.4121	259.8113	260.0453	260.1355
5.0	254.0883	255.4315	256.9688	257.9240	258.5418	258.9599	259.2252	259.3616
6.0	252.9876	254.3685	255.9599	256.9522	257.6068	258.0424	258.3322	258.5045
7.0	258.0227	259.1119	260.3268	261.1222	261.6640	261.9915	262.1201	262.0454
8.0	250.4788	252.0181	253.7279	254.8061	255.5283	256.0203	256.3575	256.5860
9.0	249.0514	250.6973	252.4913	253.6200	254.3829	254.9067	255.2721	255.5240
10.0	247.4856	249.2577	251.1614	252.3469	253.1557	253.7151	254.1095	254.3864

Table 6 Model A의 Offset Table4

	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
0.0	261.8865	261.5839	261.2177	260.8231	260.4279	260.0356	259.6561	259.4430
0.5	261.8372	261.5406	261.1683	260.7963	260.3724	260.0090	259.6470	259.4368
1.0	261.8865	261.5839	261.2177	260.8231	260.4279	260.0356	259.6561	259.4430
2.0	261.2972	261.0448	260.7371	260.4542	260.0869	259.7791	259.5096	259.3363
3.0	260.7380	260.5578	260.3189	260.0596	259.7849	259.5269	259.3212	259.1878
4.0	260.1020	259.9846	259.8039	259.5835	259.3872	259.1908	259.0470	258.9586
5.0	259.3809	259.3189	259.1950	259.0337	258.8941	258.7630	258.6747	258.6296
6.0	258.5745	258.5632	258.4949	258.3994	258.3049	258.2304	258.1843	258.1717
7.0	261.8865	261.5839	261.2177	260.8231	260.4279	260.0356	259.6561	259.4430
8.0	256.7281	256.8015	256.8292	256.8313	256.8219	256.8129	256.8122	256.8310
9.0	255.6922	255.7956	255.8563	255.8897	255.9114	255.9286	255.9517	255.9912
10.0	254.5772	254.7941	254.7878	254.8447	254.8896	254.9333	254.9839	255.0519

Table 7 Model A의 Offset Table5

	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0
-10.0	255.1478	255.2812	255.4566	255.6786	255.9553	256.2994	256.7122	257.1979
-9.0	256.0615	256.1709	256.3227	256.5247	256.7872	257.1258	257.5379	257.9842
-8.0	256.8774	256.9604	257.0923	257.2809	257.5416	257.8871	258.2926	258.7047
-7.0	259.5341	259.8435	260.2558	260.7002	261.1509	261.6011	262.0546	262.5136
-6.0	258.1860	258.2406	258.3621	258.5717	258.8836	259.2569	259.6422	259.9843
-5.0	258.6478	258.7319	258.8707	259.1237	259.4754	259.8646	260.2418	260.5555
-4.0	258.9918	259.1293	259.3024	259.6125	260.0020	260.6122	260.7836	261.0865
-3.0	259.2402	259.4382	259.6619	260.0352	260.4624	260.8830	261.2517	261.5802
-2.0	259.4074	259.6608	259.9521	260.3807	260.8241	261.2577	261.6375	262.0355
-1.0	259.5341	259.8435	260.2558	260.7002	261.1509	261.6011	262.0546	262.5136
-0.5	259.5265	259.8317	260.2322	260.6777	260.6777	261.5771	262.0211	262.4775

Table 8 Model A의 Offset Table6

	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0
0.0	259.5341	259.8435	260.2558	260.7002	261.1509	261.6011	262.0546	262.5136
0.5	259.5265	259.8317	260.2322	260.6777	260.6777	261.5771	262.0211	262.4775
1.0	259.5341	259.8435	260.2558	260.7002	261.1509	261.6011	262.0546	262.5136
2.0	259.4074	259.6608	259.9521	260.3807	260.8241	261.2577	261.6375	262.0355
3.0	259.2402	259.4382	259.6619	260.0352	260.4624	260.8830	261.2517	261.5802
4.0	258.9918	259.1293	259.3024	259.6125	260.0020	260.6122	260.7836	261.0865
5.0	258.6478	258.7319	258.8707	259.1237	259.4754	259.8646	260.2418	260.5555
6.0	258.1860	258.2406	258.3621	258.5717	258.8836	259.2569	259.6422	259.9843
7.0	259.5341	259.8435	260.2558	260.7002	261.1509	261.6011	262.0546	262.5136
8.0	256.8774	256.9604	257.0923	257.2809	257.5416	257.8871	258.2926	258.7047
9.0	256.0615	256.1709	256.3227	256.5247	256.7872	257.1258	257.5379	257.9842
10.0	255.1478	255.2812	255.4566	255.6786	255.9553	256.2994	256.7122	257.1979

표에서 가로축은 선체의 높이 Z축의 값을 나타내며, 세로축은 선체의 폭 Y축의 값을 나타낸다. 두 축이 만나는 칸의 값은 선체의 길이 X축의 값을 나타낸다. 밸브를 가지는 선수에서 WL과 BL을 1M 간격으로 자른 후 각 곡선들이 교차하는 점을 오프셀 표에 기입하였다.

Table 3, 4, 5, 6, 7, 8을 기반으로 곡선피팅 후 곡면을 생성하였다. 다음 그림들은 곡면에 대한 품질분석을 수행한 결과이다. Fig. 48과 Fig. 49는 일반적인 광원 하나에 대한 빛의 반사를 보여주며, 선체 우현에 대해서 광원의 위치를 변화시켜 보았다.

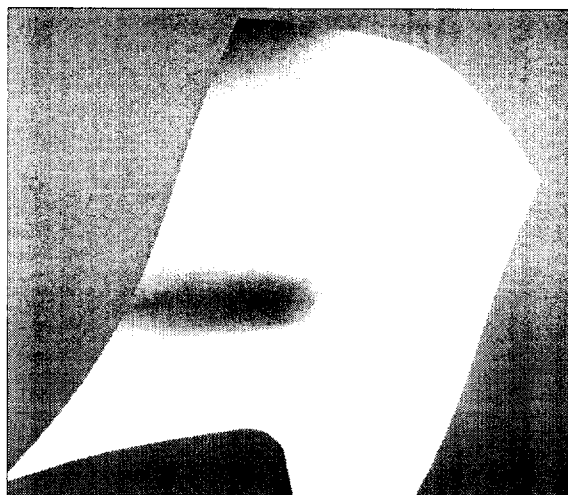


Fig. 48 광원에 의한 곡면품질분석1

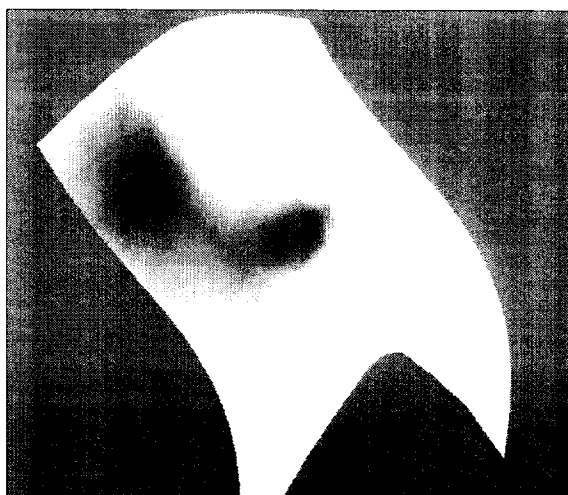


Fig. 49 광원에 의한 곡면품질분석2

Fig. 50과 Fig. 51은 네온에 의한 곡면품질 분석기능으로 CATIA 제품군 중에서 Wireframe & Surface Design에 관련된 기능이다. Fig. 50과 Fig. 51에서 선수의 벌브와 벌브에서 DLWL 위쪽의 반사선들을 살펴보았다.

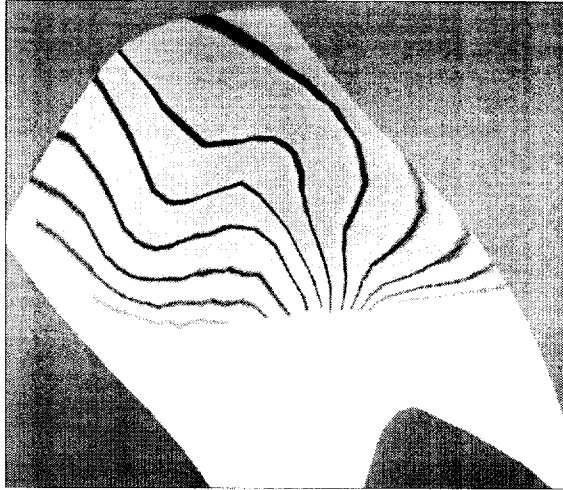


Fig. 50 네온조명에 의한 곡면품질분석1

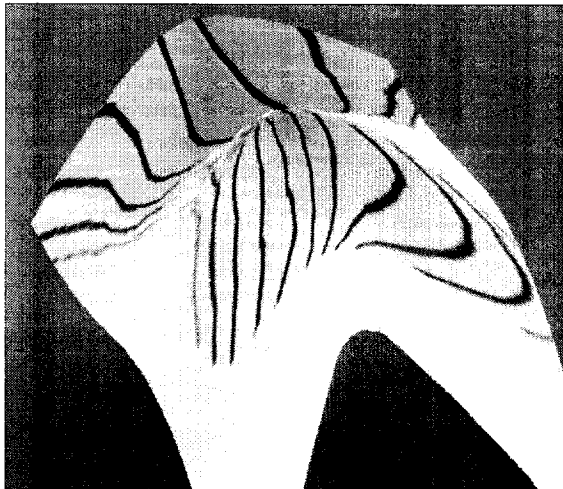


Fig. 51 네온조명에 의한 곡면품질분석2

Fig. 52와 Fig. 53은 동일한 프로그램 중에서 Reflection Line에 의한 곡면품질 분석 기능을 보여준다. 그림에서 보이는 선수형상 앞쪽의 직선은 광원의 위치를 의미한다.

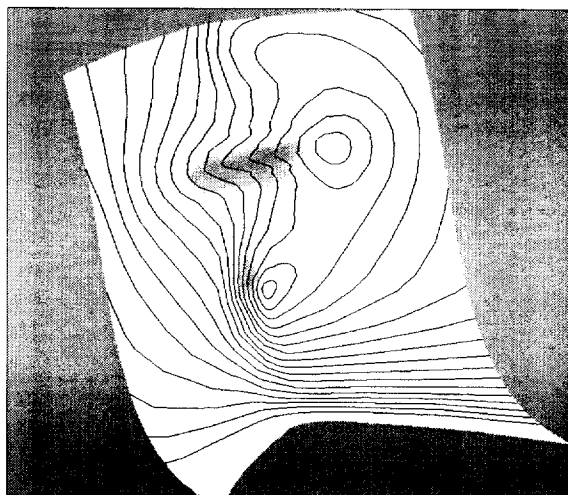


Fig. 52 반사선곡선에 의한 곡면품질분석1

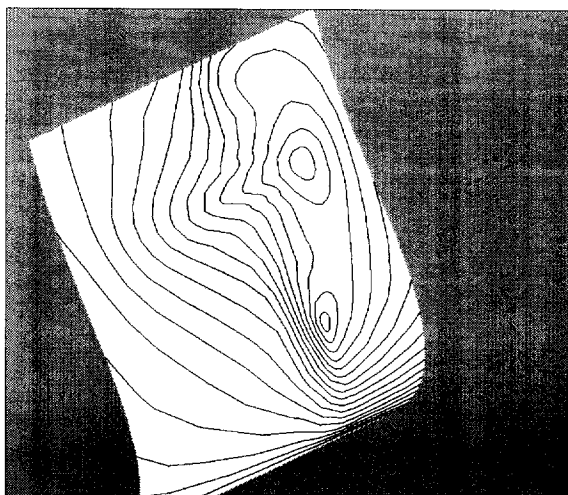


Fig. 53 반사선곡선에 의한 곡면품질분석2

5.2.2 Model B : 곡률변화가 큰 벌브를 가지는 선형

< 제원 > Lbp : 199.0 M, B : 30.2 M, D : 16.7 M, DLWL : 11.0 M

Fig. 54, 55는 Model B의 전체와 선수파트를 보여준다.

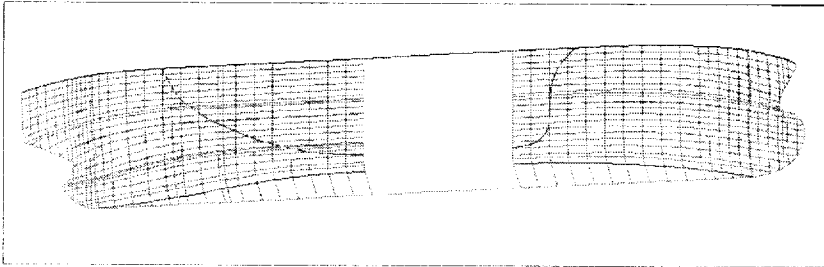


Fig. 54 Model B의 전체선형

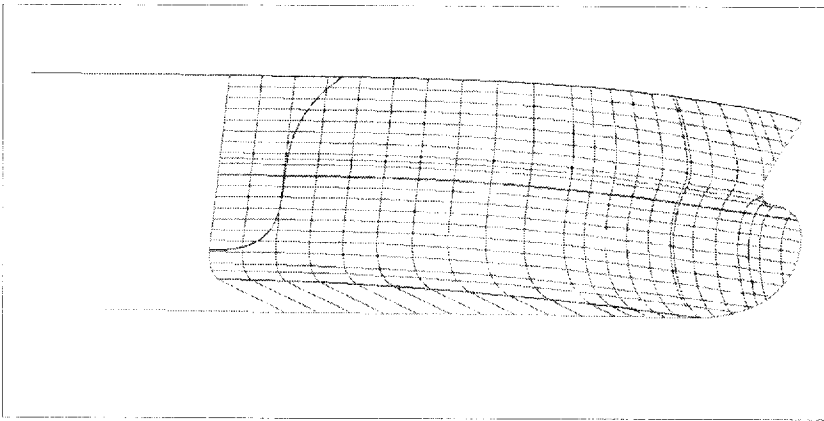


Fig. 55 Model B의 선수파트(FP)

원본 선형에서 선형 데이터를 추출한 후 Table 1, 2와 같이 오프셀 표를 작성한다 (4.3.2 장의 Step3 Table1, 2 참조). 작성된 오프셀 표로부터 곡선피팅을 실시한다. 곡선피팅이 끝나면 4.3.2 장의 순서로 곡면을 생성한다. 곡률변화가 완만한 선수벌브를 가지는 선형과 곡률변화가 큰 선수벌브를 가지는 2가지 선형으로 곡선망 순정을 실시하고, 순정된 곡선망으로부터 곡면을 생성하였다. 곡률변화가 완만한 선수벌브를 가지는 선형에서는 곡면생성이 이상없이 진행되었으나, 곡률이 심한 선수벌브를 가지는 2가지 선형에서는 곡면을 생성함에 있어 한 가지 문제점이 발견되었다.

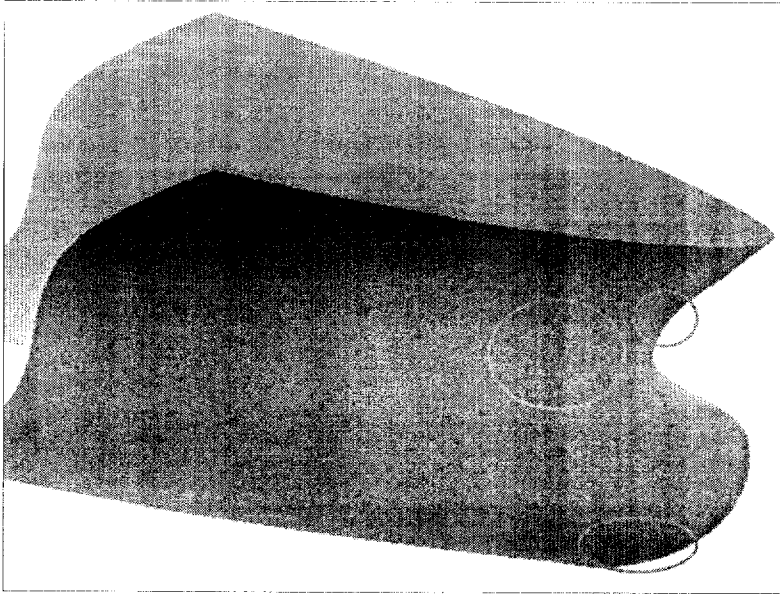


Fig. 56 매끄럽지 않은 곡면의 생성결과

생성된 곡면을 검토하던 중 선수형상의 가운데 부분과 벌브 높이(Bulb height) 근처에서 곡면이 불규칙적으로 튀는 점을 발견하였고 대체적으로 반쪽의 선형이 접하는 부분, 즉 낮은 Y값을 가지는 점들에서 매끄럽지 못한 결과를 보여주었다.

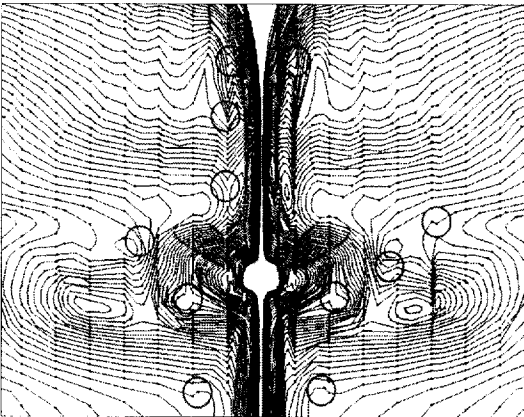


Fig. 57 반사곡선에 의한 품질분석(정면도)

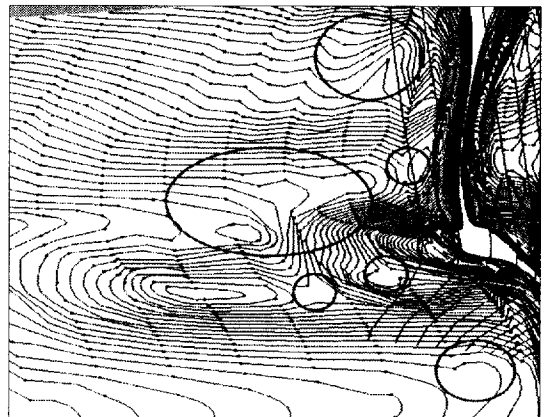


Fig. 58 반사곡선에 의한 품질분석

품질좋은 곡면을 얻기 위해 다음 작업을 추가로 수행하였다. 기존의 곡선망 데이터에서 0.5M 간격의 BL을 추가한 후 곡선망을 피팅하였다. 이에 앞서 선형데이터로부터 목

적선행의 기본데이터가 되는 BL과 WL을 추출하기 위해 작성된 오프셀 표는 다음과 같다.(Table 9, 10, 11, 12 참조)

Table 9 Model B의 Offset Table3

	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
-8.0	155.0728	156.9111	158.2460	158.7863	159.1492	159.2281	159.0363	158.3686
-7.5	156.2902	156.0369	159.1461	159.8614	160.2437	160.3153	150.1044	159.3629
-7.0	157.4594	159.1314	160.2111	160.9257	161.3385	161.3733	151.1454	160.3738
-6.5	158.5346	160.1904	161.2464	161.9615	162.3454	162.4035	152.1513	161.3423
-6.0	159.6705	161.2208	162.2570	162.9727	163.3576	163.4104	153.1549	162.4941
-5.5	159.7303	162.2272	163.2461	163.9634	164.3482	164.3955	154.1292	163.4317
-5.0	151.7373	162.2130	164.2234	164.9366	165.3186	165.3524	155.2861	164.3557
-4.5	152.7236	164.1807	165.1851	165.8944	166.2737	166.3115	156.2270	165.2738
-4.0	153.6399	166.1309	166.1333	166.5359	167.2109	167.2450	156.5355	166.1857
-3.5	154.6239	162.0646	167.0833	167.7646	168.1294	168.1643	157.9652	167.0656
-3.0	155.5485	166.9545	167.3545	168.3303	169.0484	169.0700	156.7653	167.9604
-2.5	156.4462	167.8919	168.9117	169.5912	169.9404	169.9515	159.5547	168.8715
-2.0	157.3356	168.7818	169.3039	170.4023	170.8066	170.8335	170.5357	169.7455
-1.5	158.2137	169.6526	170.6336	171.2939	171.6307	171.6813	171.4103	170.6022
-1.0	158.0696	170.5220	171.5085	172.1115	172.4411	172.5067	172.2653	171.4809
-0.5	168.9240	171.3476	172.2795	172.8450	173.1406	173.2021	172.9876	172.3129
0.0	170.5219	171.8392	172.6411	173.1678	173.4536	173.5141	173.3247	172.7275

Table 10 Model B의 Offset Table4

	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0.0	170.5219	171.8392	172.6411	173.1678	173.4536	173.5141	173.3247	172.7275
0.5	169.9240	171.3476	172.2795	172.8450	173.1406	173.2021	172.9876	172.3129
1.0	168.0696	170.5220	171.5085	172.1181	172.4411	172.5067	172.2653	171.4809
1.5	168.2137	169.6526	170.6336	171.2939	171.6307	171.6813	171.4103	170.6022
2.0	167.3356	168.7818	169.3039	170.4023	170.8066	170.8335	170.5357	169.7455
2.5	166.4462	167.8919	168.9117	169.5912	169.9404	169.9515	159.5547	168.8715
3.0	165.5485	166.9545	167.3545	168.3303	169.0484	169.0700	158.7653	167.9604
3.5	164.6239	166.0646	167.0833	167.7646	168.1294	168.1643	157.9652	167.0656
4.0	163.6399	165.1309	166.1333	166.5359	167.2109	167.2450	156.5355	166.1857
4.5	162.7236	164.1807	165.1851	165.8944	166.2737	166.3115	156.2270	165.2738
5.0	161.7373	163.2130	164.2234	164.9366	165.3186	165.3524	155.2861	164.3557
5.5	160.7203	162.2272	163.2461	163.9634	164.3482	164.3955	154.1292	163.4317
6.0	159.6705	161.2208	162.2570	162.9727	163.3576	163.4104	153.1549	162.4941
6.5	158.5346	160.1904	161.2464	161.9615	162.3454	162.4035	152.1513	161.3423
7.0	157.4594	159.1314	160.2111	160.9257	161.3385	161.3733	151.1454	160.3738
7.5	156.2902	158.0369	159.1461	159.8614	160.2437	160.3153	160.1044	159.3629
8.0	155.0728	156.9111	158.0480	158.7863	159.1492	159.2281	159.0363	158.3686

Table 11 Model B의 Offset Table5

	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
-8.0	158.0022	157.6142	157.5440	157.7773	158.3820	159.3684	160.6223	162.1957
-7.5	158.9153	158.4526	158.3504	158.5922	159.1936	160.1951	161.4609	163.0258
-7.0	159.7877	159.2429	159.1363	159.3733	159.9854	160.9816	162.2538	163.8221
-6.5	160.6238	159.9516	159.8763	160.1238	160.7417	161.7380	163.0234	164.5797
-6.0	161.4342	160.7139	160.6309	160.8473	161.4700	162.4653	163.7550	165.2399
-5.5	162.2314	161.4283	161.2911	161.5499	162.1709	163.1670	164.4570	165.9829
-5.0	163.0312	162.1462	161.9864	162.2253	162.8441	163.8453	165.1322	166.6301
-4.5	163.8518	162.8331	162.6668	162.8845	163.4991	164.5022	165.7756	167.2427
-4.0	164.7179	163.6253	163.4074	163.5273	164.1042	165.1404	166.4049	167.8218
-3.5	165.6474	164.5709	164.3536	164.4535	164.9915	165.7519	167.0135	168.3935
-3.0	166.5965	165.4332	164.8772	164.7687	165.2688	166.3861	167.6073	168.9897
-2.5	167.4523	166.1863	165.5366	165.3633	165.8511	166.9541	168.1616	169.3878
-2.0	168.1715	166.7369	166.1350	165.9539	166.4472	167.5342	168.7054	169.8728
-1.5	168.7443	167.2718	166.6796	166.5654	167.0555	168.1085	169.2476	170.3365
-1.0	169.2224	167.6276	167.1531	167.1534	167.6506	168.6513	169.7301	170.7154
-0.5	169.6188	167.8779	167.5900	167.7127	168.2742	169.1794	170.1175	170.9693
0.0	169.8209	168.0000	167.8970	168.2087	168.9133	169.5807	170.3415	171.0672

Table 12 Model B의 Offset Table6

	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
0.0	169.8209	168.0000	167.5970	168.2087	168.9133	169.5807	170.3415	171.0672
0.5	169.6188	167.8779	167.5900	167.7127	168.2742	169.1794	170.1175	170.9693
1.0	169.2224	167.6276	167.1531	167.1534	167.6506	168.6513	169.7301	170.7154
1.5	168.7443	167.2718	166.6796	166.5654	167.0555	168.1085	169.2476	170.3365
2.0	168.1715	166.7369	166.1359	165.9539	166.4470	167.5342	168.7054	169.8728
2.5	167.4523	166.1863	165.5366	165.3633	165.8511	166.9541	168.1616	169.3878
3.0	166.5965	165.4332	164.8772	164.7687	165.2688	166.3861	167.6073	168.9897
3.5	165.6474	164.5709	164.1535	164.1555	164.6918	165.7619	167.0195	168.3935
4.0	164.7179	163.6253	163.4074	163.5273	164.1342	165.1404	166.4045	167.8218
4.5	163.8518	162.8331	162.6668	162.8845	163.4991	164.5022	165.7766	167.2427
5.0	163.0312	162.1462	161.9864	162.2253	162.8441	163.8453	165.1302	166.6301
5.5	162.2314	161.4263	161.2911	161.5499	162.1709	163.1670	164.4572	165.9829
6.0	161.4342	160.7139	160.6309	160.8473	161.4700	162.4653	163.7550	165.2399
6.5	160.6238	159.9516	159.8763	160.1238	160.7417	161.7380	163.0234	164.5797
7.0	159.7877	159.2429	159.1363	159.3733	159.9854	160.9816	162.2538	163.8221
7.5	158.9153	158.4526	158.3504	158.5922	159.1936	160.1951	161.4605	163.0258
8.0	158.0022	157.6142	157.5440	157.7773	158.3820	159.3684	160.6223	162.1957

새 오프셀 표로 선행을 다시 피팅한다. 피팅한 곡선망으로부터 메쉬(Mesh)를 생성한 후 곡면을 생성한다. Fig. 59, 60은 곡선망 데이터를 Remeshing한 후 재생성한 모습을 보여준다.

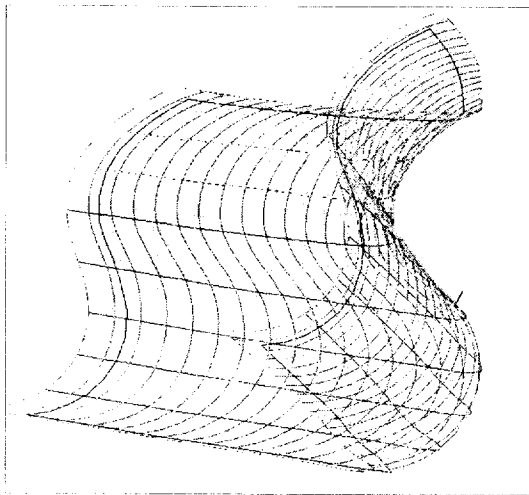


Fig. 59 재성성된 곡선망1

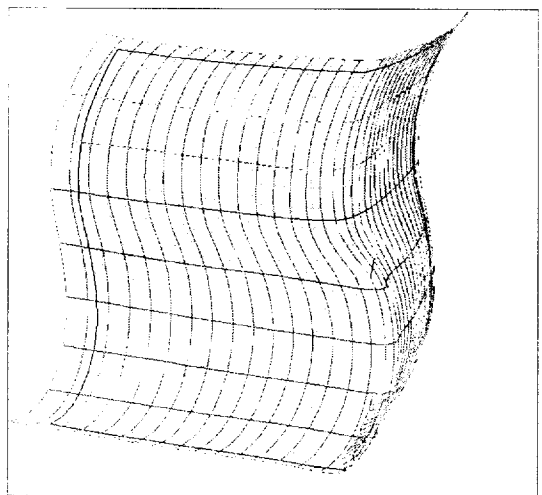


Fig. 60 재성성된 곡선망2

데이터 간격을 1M하여 생성한 곡선망에서 매끄럽지 못한 곡면이 생성되었다(Fig. 56 참조). Bulb와 FP사이에서의 CL ~ 2BL, DL과 FP사이에서의 4BL ~ 6BL에서 생성된 곡면이 그러한 결과를 보여주었으며 데이터의 간격을 조절해 줌으로써 문제는 해결되었다.

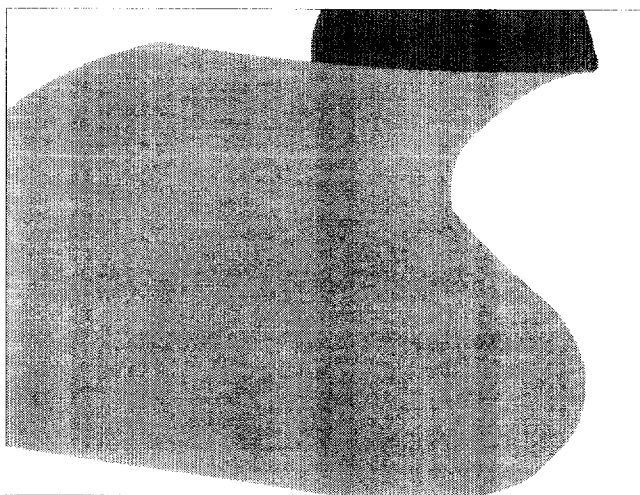


Fig. 61 수정된 선수형상 곡면(데이터간격 0.5M)

이와 같이 생성된 곡면에 대해서 광원에 의한 품질 분석을 수행하였다. Fig. 62와 Fig. 63은 일반적인 광원 하나에 대한 빛의 반사를 보여준다. Fig. 62는 선체의 우현(Starboard), Fig. 63은 선체의 좌현(Port)에 광원을 비추었을 경우이다.



Fig. 62 광원에 의한 품질분석(Port)

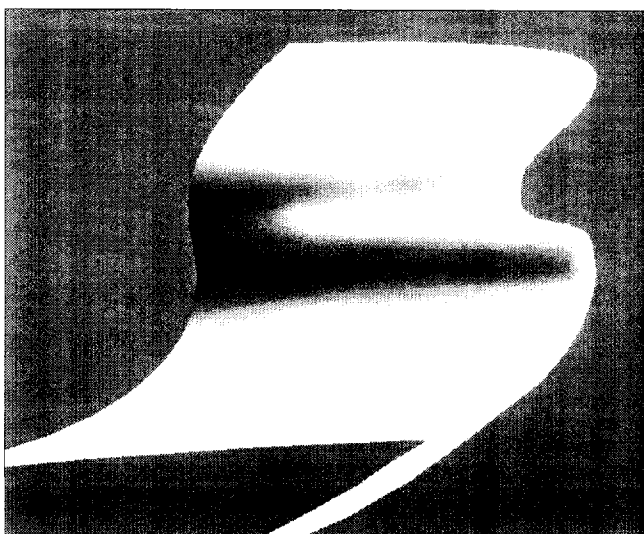


Fig. 63 광원에 의한 품질분석(Starboard)

Fig. 64와 Fig. 65는 네온에 의한 곡면품질 분석기능으로 CATIA 제품군 중에서 Wireframe & Surface Design에 관련된 기능이다. Fig. 64는 선체의 정면에서 CL상의 네온 광원에 의해 빛의 반사곡선을 나타낸다. Fig. 65는 좌현에서의 반사곡선을 나타낸다.

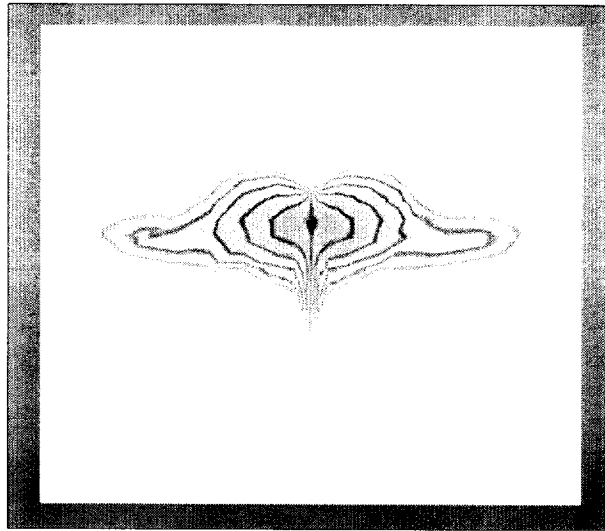


Fig. 64 네온곡선에 의한 곡면품질분석1

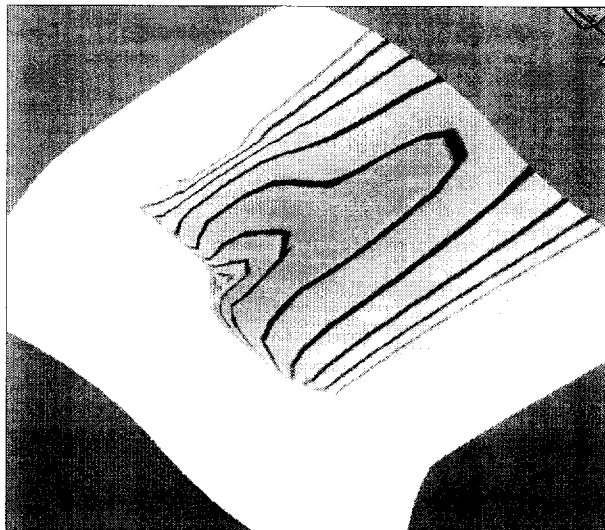


Fig. 65 네온곡선에 의한 곡면품질분석2

Fig. 66과 Fig. 67은 CATIA 프로그램 중에서 Reflection Line에 의한 곡면품질 분석기능을 보여준다. 또한, Fig. 66과 Fig. 67에서 Reflection Line을 생성한 후 광원의 위치를 변화시켜 보았다.

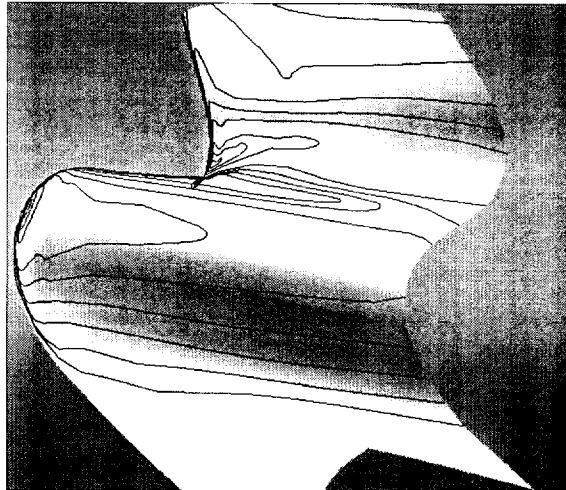


Fig. 66 반사선곡선에 의한 곡면품질분석1

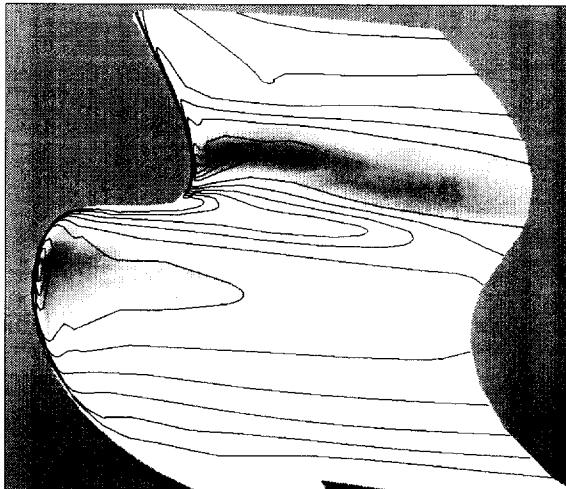


Fig. 67 반사선곡선에 의한 곡면품질분석2

III. 결론

본 논문에서는 B-Spline 곡선망 순정의 정도를 검토하고, 직관적으로 순정도를 확인해 볼 수 있는 3가지 방법을 제시하였다. Inflection Point 가시화, Intersection Angle 가시화, Diagonal Line 가시화 등의 3가지 방법으로 순정된 선형 데이터로부터 곡면을 생성하였다. 그리고 생성된 곡면을 CATIA를 이용하여 일반광원, 네온광원, Reflection Line에 의한 곡면품질분석을 하였다.

본 연구를 아래와 같이 요약해 보았다.

1. B-Spline 곡선으로 구성된 곡선망의 순정 정도를 검토하는 방법론을 제시하였다.
 - Inflection Point Display : 곡선망에서 각 곡선의 변곡점을 찾아내서 가시화하였다.
 - Intersection Angle Display : DL과 SL의 교차각을 가시화하였다.
 - Diagonal Line Display : 선수와 선미를 대각 방향으로 절단하여 전체적인 선형의 순정도를 검토하였다.
2. 최소의 Point 데이터와 곡선 데이터로 구성된 새로운 선형 데이터를 사용해서 선체형상 중 비교적 곡률의 변화가 큰 선수형상 곡면을 생성하였다. CL, BL, WL으로 구성된 선수형상 데이터는 개수가 일정한 데이터 점(data point)과 일정방향으로의 시작벡터, 끝벡터를 가지게 되어 선수형상을 곡면화하는데 편리하다.
3. 생성된 곡면의 품질분석을 수행하였다. CATIA Program을 사용하여, 일반광원, 네온광원, Reflection Line 등의 3가지 방법으로 곡면의 품질분석을 수행하였다. 특히 반사선특성곡선은 결과곡선들을 조작하여 곡면을 순정하는 데 역이용할 수 있다는 장점을 가진다.

이와 같은 연구결과를 바탕으로 차후, 벌브의 다른 형태를 가지는 선수 형상에 대한 곡면 생성과 선미 형상에 대한 곡면생성 과정이 필요하다. 그리고 적은 계산시간을 가지면서 유효한 곡면을 생성가능한 선형 DB의 분할조건을 찾음으로써 경제성있는 곡면을 생성하는 것이 필요하다.

IV. 참고문헌

- T. Poeschl, 1984, "Detecting Surface Irregularities using Isophotes", CAGD.
- K.P.Beier, Y.Chen, 1994, "Highlight-line algorithm for realtime surface-quality assessment", CAD, Vol. 26 No 4.
- 윤병호, 서승완, 김원돈, 김광욱, 1985, "B-Spline을 이용한 선체표면에 관한 연구", 대한조선학회지, 제 22권 제3호, p19~p26.
- 김원돈, 남종호, 김광욱, 1991, "선형의 기하학적 모델링을 위한 직접순정법에 관한 연구", 대한조선학회지, 제28권, 제1호.
- 김수영, 우일국, 1992, "B-Spline 곡면기법을 이용한 곡면형상 도출", 대한조선학회 논문집, 제 29권 제3호, p8~p17.
- 신현경, 박규원, 1992, "컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 선체곡면 가시화 연구", 대한조선학회지, 제 29권 제3호, p15~p20.
- 한순홍, 이규열, 이동곤, 강원수, 1993, "선박 초기설계용 전산시스템의 개발방안 연구", 대한조선학회지제 30권 제2호, p13~p23.
- 김동준, 윤태경, 1994, "선형의 순정기법에 관한 기초 연구" 대한조선학회 논문집, 제 31권 제 2호, p15~p21.
- 박지선, 김동준, 1994, "GC¹ 곡면을 이용한 선형의 표현", 대한조선학회 논문집, 제 31권 제4호, p8~p17.
- 한순홍, 이순섭, 1994, "전산 선형설계 시스템의 개발을 위한 기준모델", 대한조선학회지, 제 31권 제4호, p15~p22.
- 박지선, 1994, "선형의 곡면화에 대한 연구", 부경대학교 공학석사 학위논문.
- 임중현, 이규열, 1997, "베지에 곡선모델(드 카스텔조 알고리즘)을 이용한 곡면 통합 모델링 기법", 대한조선학회 논문집, 제 29권 제3호, p127~p138.

- 윤태경, 김동준, 임호관, 1997, “선형의 자동순정 시스템 개발(1)”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, p124~p127.
- 윤태경, 1998, “선체 외판 모델링을 위한 CAD 시스템 개발”, 부경대학교 공학석사 학위논문, p6~p18.
- 신현경, 박규원, 박호균, 김일환, 2000, “NURBS 곡면을 이용한 선형표현에 관한 연구 - 자유곡면 가공기계 개발(I)”, 대한조선학회 논문집, 제 37권 제 2호, p109~p117.
- 박성우, 2001, “영업설계를 위한 기본설계통합시스템” 부경대학교 공학석사 학위논문.
- 이준호, 2003, “범용 CAD Program에서의 응용을 위한 선형 곡면화 방법론에 관한 연구”, 부경대학교 공학석사 학위논문.
- 이무열, 2004, “선형의 곡면 모델링과 곡면 순정에 관한 연구”, 부경대학교 공학석사 학위논문.
- 최병규, 1991, “Surface Modeling for CAD/CAM”, ELSEVIER.
- 김상혁, 1998, “비주얼 C++ 정복 6.0”, 가남사.
- 김용성, 2004, “Visual C++ 6 완벽가이드 2nd Edition”, 영진닷컴.

감사의 글

이제 완전한 여름입니다. 매년 이맘때쯤이면 군제대 후 무엇이든 할 수 있을 것 같았던 젊음의 새벽 내음이 납니다. 대학원을 진학하기로 생각했던 그 여름이, 대학을 졸업하던 그 여름이 지나 이제는 사회로 나가는 여름이 되었습니다. 이제 그 여름의 땀내음처럼 열심히 살아가야겠습니다. 학부와 대학원 과정의 긴 시간동안 학문적인 가르침과 인생의 순리를 알게 해주신 조선해양시스템공학과 모든 교수님께 감사한 마음을 전합니다.

특히, 2년 반이란 시간동안 학문뿐만이 아니라 건강까지 신경써주신 지도교수님, 김동준 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 부족한 논문을 심사하시느라 수고하신 김인철 교수님, 김용직 교수님께 진심으로 감사드립니다. 생각지도 못했던 곳에서 배움의 기쁨을 알게 해주신 배동명 교수님, 구자삼 교수님께 감사드립니다. 대학원 과정 중에서 수업을 듣지 못해서 아쉽지만 감사한 마음을 선배님, 배성용 교수님께 전합니다. 마지막으로, 항상 건강하시길 바라며 정년퇴임하신 홍봉기 교수님께 진심으로 감사드립니다.

모르는 문제를 차근차근 가르쳐주시며 논문 전반에 걸쳐 도움을 주신 윤태경 부장님, 마르지 않는 정보의 샘물같이 필요할 때마다 책장을 뒤져 꺼내주시던 민정철 선배님, 자신의 일이 이미 끝났음에도 제일의 마침을 기다려주시던 박종현 선배님, 스피드한 시대의 흐름처럼 나의 질문메일에 한 시간 내로 답변을 주시던 성우형, 선배보다는 형이라는 호칭이 더 어울리는 92학번(최철은, 문중수, 최수영, 강동훈, 우성윤), 93학번(김태윤, 현재동) 형들께 감사드립니다.

95학번임이 자랑스러운 DONA95 동기들, 1년에 2번밖에 만나지 못하지만 만날 때마다 반가운 점촌고등학교 8기 동기들, 그리고 주변에서 항상 맴도는 내 친구들(민철, 성환, 주호), 수년간 동거했던 도군이, 석사과정 내내 같은 방에서 동고동락한 현수에게 고맙다는 말을 전합니다.

전산실에서 같이 고생했던 전산실원 연욱이, 동식이, 이 글을 쓰는 시간에 맞춰 원두 커피를 타주는 미래, 꼭 이름 올려 달라며 논문수정 마지막을 같이 밤샘하며 도와줬던 우용이, 실험실 들어오자 말자 다리를 다쳐 밍상 소리를 듣던 재혁이, 그리고 나를 아는 조선공학과 후배들에게도 고맙다는 말을 전합니다.

말로는 다 표현못해도 언제 어디서나 내가 사랑하는 아버지, 어머니, 늘 내게 힘이 되고 존재함만으로 든든한 형, 포기했었던 학업을 결혼하고 이어가시는 누나와 가족들에게도 감사함과 사랑하는 마음을 전합니다.

마지막으로, 3년이 넘게 나를 믿어주고, 내가 기댈 수 있는 공간을 열어두는 연희에게 고마움을 전합니다.