

大韓造船學會論文集  
 第28卷 第1號 1991年 4月  
 Transactions of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 28, No. 1, April 1991

## 선형의 기하학적 모델링을 위한 직접순정법에 관한 연구

김원돈\*, 남종호\*, 김광욱\*

### Direct Fairing for Geometric Modeling of Hull Surface by

W. D. Kim\*, J. H. Nam\* and K. W. Kim\*

#### 요 약

선체 외판은 다양한 곡률을 가진 곡면으로 이루어져 있으므로 선박설계, 선각생산을 위한 선형의 기하학적 모델링에 있어서 순정작업은 시간이 많이 소요되는 일이나 피할 수 없는 작업이다.

본 논문에서는 교차순정법의 지루한작업을 극복할 수 있는 수학적 순정법인 직접순정법을 제시하였다. 선체외판의 곡면표현을 위하여 3차의 B-spline 곡면식이 사용되었다. 순정작업은 외판의 변형에너지를 최소화하는 방법으로 수행되었다. 선체외판의 순정도 판정을 위하여 Gaussian 곡률과 판의 변형에너지를 값을 색상을 통하여 가시화 하였다.

순정작업에 의한 곡면모델로부터 산출된 선형의 기하학적 정보는 기본설계계산, 선각생산 등 선형과 관련된 전산시스템에 활용될 수 있도록 정보연계에 이용되었다.

#### Abstract

When a geometric modeling of a hull form for ship design and hull production is done, a hull fairing is a tedious process which wastes a lot of time, but it is unavoidable because hull consist of the sculptured surfaces.

This paper presents the mathematical method of the direct fairing to overcome the tediousness of cross fairing. Bi-cubic B-spline surface description was adopted for the representation of the hull surface. The fairing process was executed by minimizing the strain energy in a shell plate. The color-encoded Gaussian curvature and strain energy were visualized on the screen to illustrate the fairness of the surface.

The geometric information generated from the faired hull surface model was interfaced with the basic design calculation package and the hull production system.

발표 : 1990년도 대한조선학회 춘계연구발표회('90. 4. 15)

접수일자 : 1990년 5월 11일, 재접수일자 : 1991년 1월 28일

\*정회원 : 한국해사기술연구소

## 1. 서 론

선형의 설계를 위한 작업은 먼저 설계요구에 따른 초기선형의 도출과 도출된 선형의 순정 작업으로 진행된다. 설계 단계에서의 개략적인 순정 작업은 주로 기본설계 단계에서 수행되나 생산에 적용시키기 위한 현도작업용 프레임별 선도는 현도장에서 숙련된 기술자에 의해 행하여 지며 경험에 의한 반복 작업으로 많은 공수와 공기가 소요된다. 또한 선박설계 및 생산에서 컴퓨터를 이용한 기술(CAD/CAM/CAE)이 보편화 되면서 이들 기술을 이용하기 위한 선체의 기하학적 모델링 작업은 매우 중요한 역할을 하게 되었다. 조선전산 시스템에서 선체 모델 작성을 위하여 먼저 선도(Lines)에 따른 외판의 모델링 작업부터 행한다. 선체외판은 다양한 곡률을 가진 곡면으로 이루어져 있으므로 3차원적인 연속성과 순정도(Fairness)를 만족시키는 작업에 의해 곡면을 표현하고 곡면의 기하학적 정보를 데이터 베이스화 하는 것이 필요하다.

조선분야의 CAD/CAM 기술적용을 위한 선체의 모델링에 있어서 선체외판을 곡면이 아닌 곡선으로 표현하여 사용하여 왔다. 이 방법은 선도에 익숙해진 설계자들에게 편리하며 현재까지 개발된 조선공학적인 이론을 적용하기 쉬운 장점이 있다. 그러나 다양한 곡률로 이루어진 선각곡면을 곡선으로 모델링(Wireframe Modeling)할 경우 순정된 곡면을 얻기 위해 교차 순정(Cross fairing)이란 지루한 작업을 거쳐야 한다. 또한 곡선 모델링은 수학적 의미에서 곡면의 근사한 표현일 뿐이며 완벽한 곡면의 표현은 불가능하여 순정도의 판정은 설계자의 눈에 의존할 수 밖에 없다. 선체외판을 곡면으로 표현하는 곡면모델링(Surface modeling)에 관한 연구는 이미 많이 수행되었다(1, 2). 선형을 곡면 모델링하여 수학적 방법으로 순정도를 검토하는 연구(3)와 나아가서 매끄러운 곡면을 산출할 수 있는 직접순정법에 관한 연구가 선진 조선국에서 시도되고 있다(4, 5).

본 연구에서는 선형을 곡면으로 표현하여 직

접순정법에 의한 신속한 3차원 모델링을 수행하고, 구축된 모델을 선박설계계산, 선각생산 등 전산시스템에 활용될 수 있는 전산프로그램을 개발하였다.

## 2. 선형의 순정법

### 2.1. 선형 순정 작업

선형의 정의 과정은 크게 설계와 순정의 두 단계를 거치게 되며 초기선형에서 최종 선각모델까지 과정은 Fig.1과 같다.

과거에는 선형의 순정작업이 숙련된 기술자의 수작업에 의하여 행하여 졌으며 경험에 의한 반복작업으로 많은 시간이 소요되었을 뿐 아니라 순정도에 대한 판정은 숙련공의 눈에 의한 판단에만 의존하여 왔다. 순정작업을 전산화 하려는 노력은 컴퓨터의 발달로 많은 연구와 함께 전산시스템화로 진척되고 있다.

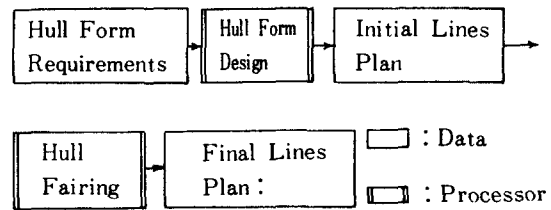


Fig.1 Two Stages of Hull Form Definition

### 2.2. 순정 작업의 전산화

먼저 컴퓨터 그래픽스를 이용하는 방법으로 그래픽 화면에서 선도상의 점을 변환(Digitizing and Moving)시켜 새로운 3차원 선도를 즉각 표시함으로써 작업의 효율을 높이는 방법으로 이는 수작업에 의한 방법을 대화식 컴퓨터 그래픽스화한 것이라 할 수 있다(6).

다음 수학적인 방법을 순정작업에 도입한 방법으로 선형을 표현하는 곡선과 곡선을 구성하는 점에 중량 및 방향 성질을 부여함으로써 순정 기준에 따라 열등한 입력 자료의 수정 및 곡선으로 곡면을 표현하기에 불충분한 정보를 보충할 수 있도록 하는 방법이다. 이때 순정기준으로 곡선의 연속성 혹은 곡선상의 곡률변화가 주로 사용된다. 이를 'Local Spring-back

Method'라 한다[7].

상기 두 방법은 선형을 Wireframe 모델화하여 교차 순정을 수행하는 방법으로 선각곡면의 근사적인 표현에 의한 기하학적자료의 데이터 베이스를 구축하여 수작업보다 신속히 처리할 수 있도록 한 것이다. 따라서 선체곡면의 완전한 표현이 불가능하며 3차원 곡면을 직접 수정하여 순정작업을 행할 수 없으므로 많은 노력과 시간이 필요하다. 또한 순정도의 검정은 결국 직교면과의 곡선 즉 선도의 매끄러움만으로 측정할 수 밖에 없다. Hermite Form과 같은 곡면에 Local Spring-back Method를 적용한 방법[8]도 있으나 이는 Wireframe 모델을 곡면모델로 확장한 것이며 순정과정에서 3차원 연속성에 대한 장점으로 작업의 효율을 향상시킬 수 있으나 결국 설계자에 의한 곡면상 각 점에 대한 중량값의 결정 및 순정도의 판정이 필요하다. 최근 선형의 순정작업을 위해 전문가 시스템(Expert system)의 활용에 대한 연구가 진행되고 있으나 순정도 판정을 위하여 규칙베이스(Rule Base) 이용하는 방법으로 순정작업은 결국 교차페어링으로 행하게 된다[9].

곡면모델링에 의한 수학적 순정방법으로는 선각을 얇은 탄성판으로 간주하고 곡면의 변형법위를 제한조건으로 하여 곡면의 변형에너지를 최소화하는 방법 즉 곡면의 에너지 방법(Energy method)이 있으며 이때 순정도의 검정에는 곡면의 "Gaussian곡률"이 주로 사용된다[4,10].

### 2.3. 에너지 방법

선각의 순정작업을 전산화 하기 위하여 곡면 순정도 판정기준을 수식화하여야 한다. 이때 기술자의 경험이나 직관력을 수식화 하기는 불가능하기 때문에 어떠한 기준함수를 사용하여야 한다. 선형의 순정을 위한 이러한 판정기준(Fairing criteria)은 이미 많은 연구가 있었으며 [4,5,10,11] 직접순정을 위하여 선형을 곡면으로 모델링 하였을 경우에는 주로 평판의 변형에너지(Strain energy)를 사용한다. 얇은 탄성판(Thin rectangular elastic plate)의 휨과 비

틀림의 변형에너지는

$$u = c \iint \left[ \left\{ \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right\}^2 - 2(1-\nu) \left\{ \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial x^2 \partial y} \right\} \right] dx dy \quad (1)$$

여기에서

$f(x,y)$  : Cartesian representation of the surface

$c$  : constant

$\nu$  : Poisson's ratio

식(1)에서  $\nu$ 를 무시하면

$$u \approx c \iint \left[ \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 \right] dx dy \quad (2)$$

작은 변형에 대한 에너지 식으로 변환하면

$$u = \iint (k_1^2 + k_2^2) dx dy \quad (3)$$

$k_1, k_2$  : principal curvature

$\bar{x}, \bar{y}$  : coordinates in local tangent plane

## 3. 곡면 모델링

임의 곡면을 매개변수(Parametric)를 이용하여 표현하는 수학적 방법으로는 1967년 Coon's Patches 이후 텐서곱(Tensor Product) 형식인 Ferguson곡면, Bezier곡면, B-spline곡면 등 많은 이론이 있다. 일반적으로 3차식을 사용하는 B-spline곡면이 선체의외관표현에 가장 적합한 것으로 알려져 있다[1]. 그러나 실제 조선분야에 이를 적용시키기 위하여는 곡면 정의를 위한 버텍스 산출과 선도를 구하기 위한 곡면과 평면과의 교차를 행하여야 하는 어려움이 있다[2].

### 3.1. B-spline 곡면표현

텐서곱 조각(Tensor-product patch)에 의한 Uniform B-spline곡면에서  $u, v$ 의 2변수방향(Parametric direction)으로  $m, n$ 개의 버텍스(Vertex)에 의해 정의되는 B-spline곡면은 식(4)와 같다.

$$P(u,v) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} B_i N_{ik}(u) M_{j,l}(v) \quad (4)$$

$B$  : polygon net points

$k, l$ : the order of the B-spline surface in the  $u$  and  $v$  directions respectively ( $k \leq m, l \leq n$ )

$N, M$ : basis function

$k-1$ 차(degree)식을 가지는 B-spline 기본함수(Basis Function)  $N_{i,k}, M_{j,l}$ 는 다음과 같은 순환식(Recursive Formula)에 의해 결정된다.

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1, & \text{for } u_i \leq u \leq u_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

$$M_{j,1}(v) = \begin{cases} 1, & \text{for } v_j \leq v \leq v_{j+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{j,l}(v) = \frac{v-v_j}{v_{j+1}-v_j} M_{j,l-1}(v) + \frac{v_{j+1}-v}{v_{j+2}-v_{j+1}} \cdot M_{j+1,l-1}(v) \quad (5)$$

$u_i, v_j$ : Knot-vectors in the  $u$  and  $v$  directions respectively

식(5)에서  $k=l=4$ 이면  $B_1$ -cubic B-spline 곡면이 되며 각 곡면조각의 끝점에서 2차도함수까지 연속을 만족하는 즉 탄젠트 벡터와 곡률의 연속성을 만족하는 곡면을 구할 수 있다.  $(i, j)$ 번째 곡면조각은  $B_1$ -cubic일 경우  $B_{i+r, j+s}$ ,  $r=-2, -1, 0, 1$ ,  $s=-2, -1, 0, 1$ 의 16개의 버텍스에 의해 결정된다.

$$P_{ij}(u,v) = \sum_{r=-2}^1 \sum_{s=-2}^1 B_{i+r, j+s} N_{i+r}(u) \cdot M_{j+s}(v) \quad (6)$$

for  $0 < u, v \leq 1$

### 3.2. 초기 버텍스 산출

기본설계 단계에서 작성된 초기 선도를 이용하여 B-spline 곡면으로 선체의외판을 표현하고자 할때 곡면정의에 필요한 버텍스를 결정하여야 한다. 즉 주어진 선형의 읍셋 좌표들을 지나면서 선체의외판을 정의할 수 있도록 하는 버텍스의 산출이 필요하다. 이를 위하여 Barsky가 제시한 Uniform  $B_1$ -cubic B-spline 버텍스의 그래프 이론에

의한 방법을 이용하였다[12]. 이 방법에서는 곡면이  $u, v$ 방향으로  $m, n$ 개의 점으로 구성될 때 Back-substitution에 의해 곡면 경계 버텍스를 먼저 구한 뒤 곡면 경계를 제외한 내부 버텍스를 산출한다. 한편, 경계 버텍스와 내부버텍스 만으로는 곡면 경계에서의 정의가 불가능하므로 경계 읍셋점을 지나면서 경계선에서의 어떤 경계조건을 만족하는 가 버텍스(Phantom vertices)를 구하여야 한다. 선형의 곡면 끝 단면의 경계에서의 원하는 입사각등 경계조건은 이러한 가 버텍스를 조정함으로써 얻을 수 있다.

### 3.3. B-spline 곡면의 교차(Intersection)

곡면간의 교차곡선을 구하는 문제는 곡면 모델링이 선박, 항공기, 자동차 설계에 적용되면서부터 중요한 문제로 대두되고 있다. 대수학적으로는 교차 방정식의 근을 구하는 방법으로 산출할 수 있으나 계산상 어려우며 Newton의 반복적 방식과 같은 휴리스틱 방법은 올바른 해를 구하지 못하는 경우가 있다. 결국 곡면 분할에 의한 기하학적 방법이 현재로는 근사한 해를 가장 빨리 구하는 방법이다[13]. 선체의외판 모델에서 필요한 선도(Body Plan, Water Line, Buttock Line)의 산출은 외판곡면과 원하는 평면(YZ, ZX, XY-plane)과의 교차에 의하여 구하여 진다.

본 연구에서는 곡면과 평면간의 교차를 이진탐사(Binary Search)에 의한 YZ, ZX, XY-면과의 교차가능한 조각탐사를 수행한 뒤 교차가능조각내에서 선형보간법(Linear Interpolation)에 의하여 교차점을 구했다. 이들 교차점으로 B-Spline 곡선 생성에 필요한 버텍스를 구한 뒤 Cubic B-spline 곡선 보간법을 이용하여 교차곡선을 구하는 방법을 택하였다. 이와같은 방법은 곡면이 구하여진 상태에서 YZ, ZX, XY-면과의 교차곡선을 구하는 가장 빠른 방법이라 할

수 있다. 임의의 면과 곡면간의 교차를 위하여는 교차면의 유형별 비교 및 Mimi/Max Test에 의한 교차 가능성을 검정한 후 교차범위의 Box를 만들어 교차면과 교차범위 Box의 6개면중 교차면과 형태가 다른 두면에 대해 2개의 교차점을 구할 수 있다.

### 3.4. 곡률의 산출

Gaussian 곡률은 곡면상의 각 위치에서 곡면의 기하학적 특성을 가장 잘 나타내며 선체외판의 순정도 검정에 효과적으로 사용할 수 있다[3].

곡면  $r=r(u, v)$  상의 한점에 있어서의 모든 공간곡선에 대한 곡률  $kn$ 은

$$kn = kN_n = \frac{\dot{u}D\dot{u}^t}{\dot{u}G\dot{u}^t} \quad (7)$$

$$\dot{u} = [\dot{u} \quad \dot{v}]$$

$N$  : Principal normal vector

여기에서  $G, D$ 는 곡면의 1차 및 2차 기본행렬(Fundamental Matrix)이다.

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial r}{\partial u} & \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial r}{\partial v} \\ \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial r}{\partial v} & \frac{\partial r}{\partial v} \frac{\partial r}{\partial v} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$D = \begin{bmatrix} n \frac{\partial^2 r}{\partial u^2} & n \frac{\partial^2 r}{\partial u \partial v} \\ n \frac{\partial^2 r}{\partial u \partial v} & n \frac{\partial^2 r}{\partial v^2} \end{bmatrix}$$

$n$  = Surface normal

$\dot{u}$ 에 대해  $kn$ 이 최대, 최소값을 가지는 방향을 주곡률방향(Principal direction of normal curvature)이라 하며 이때의 곡률을 주곡률(Principal curvature)이라 한다.

$$(D - kn G)\dot{u} = 0 \quad (9)$$

곡면상의 임의의 점에서 Gaussian 곡률  $K$ 는 주곡률의 곱, 즉 식(9)에서  $kn$ 의 최대, 최소값의 곱이다. 따라서

$$K = \frac{|D|}{|G|} \quad (10)$$

## 4. 직접순정에 의한 선형의 곡면 모델

선체표면을 구성하는 외판을 기하학적으로 분류하면 평판(planar surface)과 곡판(Sculptured surface)으로 나눌 수 있다. 따라서 선체외판을 수학적 방법으로 표현하고자 할 때에는 기하학적 수식을 평면과 곡면으로 함께 표현하기 보다는 분리하여 정의하고 조합하는 방법이 보다 정확한 방법이다. 따라서 선체표면의 모델링을 위하여 곡면부분에 해당되는 부분만을 B-spline 곡면으로 표현하여 순정작업을 거친 뒤 평판부분과 접합시켜 완전한 선체외판을 표현하였다.

### 4.1. 선형정의를 위한 벡터 산출

B-spline의 초기 벡터 산출을 위하여 곡면의  $u, v$ -매개변수에 따른 선체표면에서의 격자모양의 곡면좌표 즉 그릿오프셋(grid offset)이 필요하다. 이를 수작업으로 행할 경우 스테이션 오프셋외의 부가곡선 입력등의 작업이 요구되며 Uniform B-spline 곡면생성을 위한 효율적인 벡터 산출이 불가하다. 효과적인 벡터 산출을 위하여 국내에 널리 활용되는 선박 기본계산 프로그램에 사용되는 선형정의 방법을 이용하여 선형그릿오프셋을 구하였다. 순서는 다음과 같다.

(1) 선형의 종방향 곡선(W.L, B.L, Space curve)을 TABCYL(TABulated CYLinder) 혹은 parabolic blending을 사용하여 정의한 뒤 데이터베이스에 저장한다.

(2) 정의된 종곡선을 이용하여 원하는 길이방향의 위치마다 필요한 프레임을 만든다.

(3) 선체 표면의 곡면부분, 즉 Center Line, Bottom Tangent Line, Deck Side Line, Parallel Midship Bilge로 경계되는 부분에서 각 프레임 별로 원하는 갯수 만큼의 둘레길이(Girth Length)가 등(等) 간격이 되는 그릿오프셋을 산출한다.

(4) 생성된 그릿오프셋은 데이터베이스 저장되어 Uniform Bi-cubic Surface를 생성하기 위한 벡터 산출 프로그램에 활용된다.

Fig. 2는 선형정의를 위하여 입력된 중곡선과 프레임형성된 선형의 3차원 표현이다. Fig.3는 등(等) 둘레길이 간격으로 생성된 선수미 선형의 도면이다. Fig.4는 선수미 그릿웍셋에 의해 산출된 벡스 형상이다. 일반선미와 선수의 웍셋은 중심선을 Z방향으로 등간격이 되는 좌표를 구하여 만들어 졌다. 트랜섬 선미의 웍셋은 트랜섬형상을 데이터베이스에서 읽어와 등간격의 둘레길이 되는 좌표로부터 구해졌다. 공간곡선인 트랜섬형상은  $xy$  및  $xz$  평면에 투시된 2개의 2차원곡선으로 저장되어 있다.

4.2. 선체 외판의 곡면표현

초기 선도로부터 4. 1절의 과정으로부터 산출된 벡스를 사용하여 선체외판을 B-spline

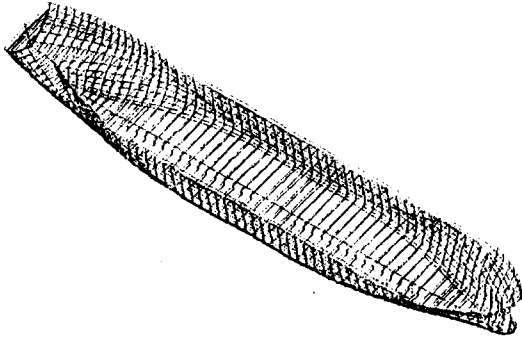


Fig.2 Wireframe Model of Hull

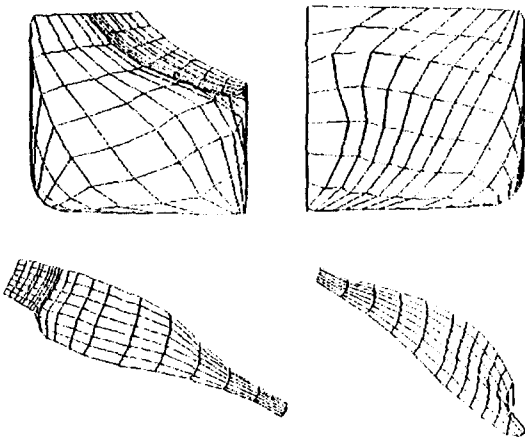


Fig.3 Grid Drawing of equal Girth Length

곡면으로 모델링할 수 있다. 곡선을 구성하는 요소를 선분(Segment)이라 할 때 곡면을 구성하는 요소는 곡면조각(Patch)이며 벡스로부터 무한한 조각을 나눌 수 있다. 곡면 모델링에 위한 작업의 정도(Accuracy)는 조각의 크기 즉 곡면내의 조각의 갯수에 따라 결정되며 조각의 갯수는 프로그램에서 사용하는 주기억 장치의 크기, 즉 컴퓨터하드웨어의 용량에 의존한다. Fig.5는 선수미 곡면부분의 B-spline 곡면을 표시하고 있다.

4.3. 순정도(fairness)검토

선도와 같이 선체표면을 곡선에 의해 표현할

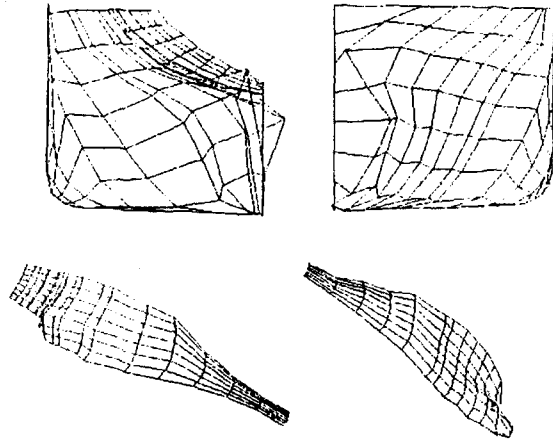


Fig.4 Vertex Drawing

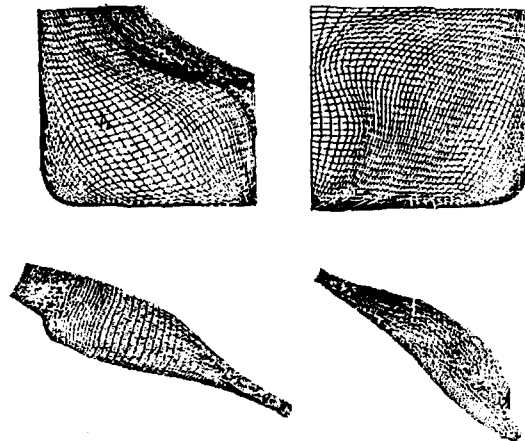


Fig.5 Hull Surface Representation by bi-cubic B-spline

경우 설계자는 각 프로젝트에 있어서 곡선좌표의 위상적인 일치성과 곡선의 매끄러움(smoothness)을 검정 함으로써 순정성을 판단하였다. 선체표면을 곡면으로 표현하면 곡면좌표의 위상은 일단 만족하나 곡면으로 도면화할 경우 곡면의 순정상태는 눈으로 판별이 곤란하다. 그러므로 정의된 곡면 모델로부터 곡선 즉 선도의 작성이 필요하게 되며 결국 순정성의 검토는 설계자의 눈에 의한 곡선의 매끄러움으로 판정하여야 하는 어려움이 있다. 수학적으로 곡면의 순정도를 검정하기 위한 방법은 Gaussian 곡률의 수치적인 자료를 이용하여 해석적인 방법으로 순정도를 검토하는 방법이다. 3.4 절에서와 같이 Gaussian 곡률은 곡면 조각의 점에서 최대, 최소 곡률의 곱으로 표현되며, 그점에서의 곡면의 형상이 볼록(full) 혹은 오목(hollow)이면 양의 값이며 안장모양(saddle-shaped)이면 음, 직접 전개 가능형상이면 영의 값을 가진다. 따라서 Gaussian 곡률의 값이 양, 음, 영에 따라 타원(elliptic), 쌍곡선(hyperbolic), 포물선(parabolic)형의 곡면 성질을 가진다. 일반적으로 선형은 이들 세성질의 형상으로 이루어진다. Fig.6은 선수미 곡면부분의 Gaussian 곡률의 특성치를 색상으로 등급화하여 선체의외판에 가시화한 것으로 색상의 변화에 따른 순정도의 검토가 가능하다.

4.4. 곡면 순정작업

순정작업의 진행은 전술한 에너지 방법에 의

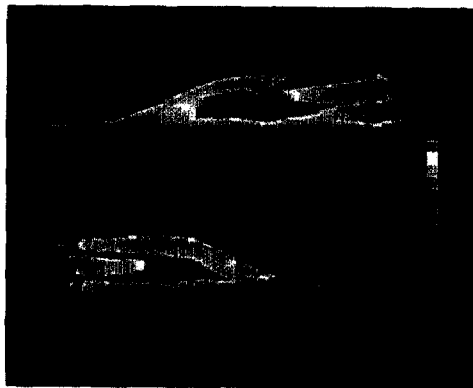


Fig.6 Color-encoded Gaussian Curvature

한 순정기준을 목적함수로 하여 비선형 최적화 기법을 사용하여 수행되었다. 이때 곡면상의 점들이 설계변수가 된다. 제한조건은 유체동역학 및 정역학적으로 큰 영향을 미치지않은 범위내의 변위로 두었다. 최초의 곡면형상이  $r_0(u,v)=[x_0(u,v), y_0(u,v), z_0(u,v)]$ 이고 최적화 과정중의 곡면형상이  $r(u,v)=[x(u,v), y(u,v), z(u,v)]$ 인 경우 제한조건식은

$$E = \iint_R [(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2} H \, du \, dv < \epsilon \tag{11}$$

여기에서

R : denotes the rectangle in (u, v) space that corresponds to S

H : (u, v) to (x, y) mapping

$\epsilon$  : specified toleranec

따라서 최적화는  $E < \epsilon$ 를 만족하는 범위내에서 식(11)의 변형 에너지 값을 최소로 하는 것으로 된다.

선체의외판의 순정작업을 위하여 본 연구에서는 비선형 최적화기법중 Nelder and Mead Simplex방법이 사용되었다. 이 방법은 탐색지역내에서 Simplex형상을 만든 다음 Reflection, Expansion, Constraction, Reduction의 벡터 연산에 의해 Simplex형상을 변화시키면서 최적점을 찾아낸다[14]. 이 방법은 설계변수의 성격이 비슷하고 그 수가 많을 경우에 적합하며 프로그램이 비교적 간단하고 컴퓨터 수행시간에 유리한 장점을 가지고 있다. 최적화 기법에 사용되는 목적함수, 설계변수, 제한조건은 다음과 같다.

(1) 목적함수(Objective Function)

에너지방법에 의해 구하여진 선수, 선미 Sculptured곡면에서의 Strain Energy를 목적함수로 정한다. 이 변형에너지를 최소화함으로써 순정작업을 수행한다.

식(3) 을 곡면 순정도의 형태로 변환하면

$$u = \int_S (k_1^2 + k_2^2) \, ds = \iint_R (k_1^2 + k_2^2) H \, du \, dv \tag{12}$$

여기에서 ds는 곡면의 단위면적 요소이며 H는 (x, y)좌표계에서 (u, v)좌표계로의 사상(mapping)을 나타낸다

곡면 식  $r=r(u, v)$ 일때 곡면 한 조각이  $u=u_0,$

$u = u_0 + \delta u, v = v_0, w = w_0 + \delta w$ 로 둘러싸인 곡면 요소의 면적은

$$\begin{aligned} \delta S &\approx \left| \frac{\partial r}{\partial u} \right| \times \left| \frac{\partial r}{\partial v} \right| \delta u \delta v \\ \left| \frac{\partial r}{\partial u} \times \frac{\partial r}{\partial v} \right|^2 &= \left| \frac{\partial r}{\partial u} \right|^2 \times \left| \frac{\partial r}{\partial v} \right|^2 (1 - \cos^2 \theta) \\ &= \left| \frac{\partial r}{\partial u} \right|^2 \times \left| \frac{\partial r}{\partial v} \right|^2 - \left( \frac{\partial r}{\partial u} \cdot \frac{\partial r}{\partial v} \right)^2 \quad (13) \\ &= |G| \end{aligned}$$

식(12)는

$$u = \int_u \int_v (k_1^2 + k_2^2) \sqrt{|G|} \, dudv \quad (14)$$

곡면의 곡률  $k_n$ 의 식은

$$|G| k_n^2 - (g_{11}d_{22} + g_{11}d_{22} - 2g_{12}d_{12})k_n + |D| = 0 \quad (15)$$

여기에서  $d_{ij}, g_{ij}$ 는 1차 및 2차 기본행렬의 요소이다.

$$k_1^2 + k_2^2 = \frac{(g_{11}d_{22} + d_{11}g_{22} - 2g_{12}d_{12})^2 - 2|G| \cdot |D|}{|G|^2} \quad (16)$$

식(14), (15), (16)으로부터

$$u = \int_u \int_v \sqrt{[(g_{11}d_{22} + d_{11}g_{22} - 2g_{12}d_{12})^2 - 2(g_{11}g_{22} - g_{12}^2)(d_{11}d_{22} - d_{12}^2)] \cdot (g_{11}g_{22} - g_{12}^2)^{-3/2}} \, dudv \quad (17)$$

식(17)에서와 같이 순정도 판정기준 함수는 곡면의 곡률특성치들에 의해 표현된다.

(2) 설계변수(Design Variable)

곡면의 생성을 위한 벡터의 좌표를 설계변수로 한다. 그러나 벡터의 좌표  $x, y, z$ 를 모두 설계변수로 하였을 경우 벡터 갯수의 증가에 따라 설계변수가 3배로 늘어나게 되어 엄청난 계산량이 요구된다. 현존하는 컴퓨터의 하드웨어 환경을 고려하여 설계변수의 수를 줄이는 방법이 고려되어야 한다. 본연구에서는 각 벡터이  $x, z$ 좌표를 고정시키고  $y$ 좌표만을 설계변수로 하였다.

선체 곡면 전체에 대해 최적화를 수행할 경우 많은 시간이 소요되어 작업시간상으로 오히려 비효율적일 수가 있다. 따라서 Gaussian 곡률의 가시화작업에 의해 순정도를 검토한 후, 순정작업이 필요하다고 생각되는 장방형 부분의 벡터만을 설계변수로 지정하여 전체적인 변형에너지를 최소화하는 방법을 택하였다.

(3) 제한조건(Constraint)

해당곡면에서 설계변수들 즉 벡터의  $y$ 변

위의 합이 적당한 값  $\epsilon$ 를 넘지않게 하는 것을 제한조건으로 하였다. 설계변수의 단순화에 따라 식(11)은 다음과 같이 된다.

$$E = \iint_R [(y - y_0)^2]^{1/2} H \, dudv < \epsilon \rightarrow \sum_{i=0}^n |y_i - y_0| < \epsilon \quad (18)$$

여기에서  $N =$  설계변수 갯수

$\epsilon =$  tolerance

본 연구에서는  $\epsilon$ 를 초기 선형의  $y$ 좌표 합의 5%로 하였다.

한편, 위의 제한조건이 위배될 경우에는 External Penalty Method를 이용하여 순정결과를 보정하였다.

(4) 순정작업 수행

Fig.7은 선수미 각 조각에서의 Strain Energy 값을 가시화한 것이며 Fig.8에서는 선미부의

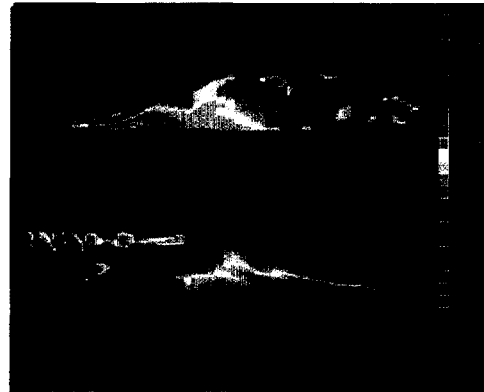


Fig.7 Color - encoded strain energy



Fig.8 Comparison between unfaired(upper)and faired(lower) Gaussian curvature



Gaussian곡률에 의해 순정도를 검정한후 순정작업이 필요한 부분에 직접순정을 수행한 후 결과의 곡률도를 비교하였다.

#### 4.5. 선도 및 읍셋표 작성

3.3절에서 서술한 바와 같이 선체외판 모델에서 곡면과 평면의 교차 곡선으로부터 설계 및 생산에 필요한 선도를 구했다. 즉 Body Plan은 YZ-평면, Buttock Line은 ZX-평면, Water Line은 XY-평면과 곡면모델과의 교차곡선이다. Fig.9은 교차곡선으로 구해진 선수의 선도이며 읍셋표는 이를 교차곡선에서 원하는 위치의 좌표를 산출하여 얻었다. 산출된 각 선도의 기하학적 정보는 데이터베이스에 저장되어 선형 관련 시스템 즉 설계 계산이나 외판가공 정보처리에서 요구되는 선형정보로 활용된다.



Fig.9 Lines(forward part)

### 5. 프로그램 구성

#### 5.1. 곡면모델링 및 모델적용을 위한 정보흐름

선형의 순정작업은 선박설계 및 건조의 모든 공정중 가장초기에 수행되는 작업이며 순정작업에 의한 선형의 전산모델 작성은 선박의 모든 특성계산, 해석 및 공작상의 정도를 가장 크게 좌우한다. 본 연구에서는 선형을 곡면 표현에 의하여 순정 작업과 모델링을 수행한뒤 설계계산 및 선각공작에 가장 효과적으로 적용시킬 수 있는 정보흐름을 구성하였다. Fig.10은 시스템의 최상위의 DFD(Data Flow Diagram)이다.

#### (1) 곡면 모델에서의 선형정보

설계 계산과 외판가공정보처리에서 사용되는 선형정보는 일반적으로 프레임을 기초로 하며 기타 필요한 부분은 선도의 기하학적 정보로부터 얻게된다. 따라서 곡면모델과 YZ-Plane과의 교차(Intersection)에 의해 생성된 데이터베이스에서 필요한 선형정보를 얻을 수 있다.

#### (2) 선박기본설계 계산용 선형정보

선박기본설계 계산은 선박의 유체정력학 및 성능, 용적, 적하상태에 따른 안정성 및 종강도 등을 계산하는 분야로서 이를 수행하기 위하여는 먼저 선형정의에 의한 선형의 기하학적 정보가 필요하며 선형정의의 정확성에 따라 기본 계산 결과의 신뢰성이 결정된다. 본 연구에서는 전술한 곡면 모델링에 의해 순정된 선형모델과 현재 국내 중소형 조선소 및 선박관련업체에서 널리 활용되고 있는 기본계산 패키지(CASHIP Package)와의 선형정보의 연계를 수행하여 곡면모델에서 생성된 선도의 기하학적 정보가 직접 계산에 활용할 수 있도록 하였다.

#### (3) 선각정보처리 시스템용 선형정보

곡면모델에서 생성된 선형정보를 선각 정보시스템의 외판관련 분야에 적용시키기 위하여 현재 당연구소의 아폴로 워크스테이션에서 활용 가능한 시스템[15]과의 시스템 연계용 데이터베이스화일을 구성하였다.

선각정보 시스템의 데이터베이스와의 연계를 쉽게 하기 위하여 외판처리 시스템의 레코드색인번호(Record identification number)가 서로 일치하도록 레코드 구성을 하였다.

#### 5.2. 컴퓨터 그래픽스 활용

본 연구수행을 위한 컴퓨터 그래픽스는 국제적 표준화(Graphics standards)와 독립성(Device independence), 확장성(Graphics interface)등을 고려하여 CGM(Computer Graphics Metafile)을 선정하였으며[16], 하드웨어로는 최근 CAD/CAM분야에 널리 활용되는 EWS(Engineering Workstation)인 아폴로 워크스테이션을 사용하였다. 본 연구에서 활용된 GMR3D(Graphics Metafile Resource-3D)는

최근 3차원 모델링의 통합화와 실시간(real time) 그래픽의 일반화에 따라 미국규격협회(ANSI)의 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) 기준에 의해 완성된 그래픽스 시스템이다.

GMR3D는 PHIGS의 규격과 목표를 모두 갖추고 아폴로 워크스테이션의 구조적 특성을 최대한으로 활용하기 위해 기능이 추가, 확장된 시스템으로 추가된 기능은 비 가시선/면 처리, 광원에 대한 Shading계산, 영상의 기록 등이다. GMR3D에서 쓰이는 데이터 저장 형태는 메타파일(Metafile)이다. 메타파일은 벡터 그래픽스나 텍스트와 같은 화상 데이터들의 집합체로 하드웨어에 무관하며 (Device independent) 저장된 메타파일을 이용하여 다시 디스플레이, 수정, 보완할 수 있다. 메타파일은 단순한 Bitmap의 복사가 아니라 그래픽 영상요소들의 리스트들을 보관하고 있다.

### 6. 결 론

초기설계 과정의 선형설계에서 선각생산 공

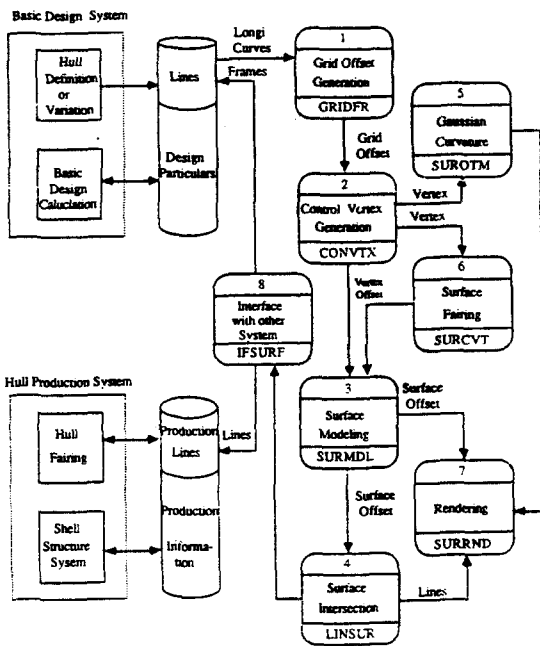


Fig.10 Top DFD for Systemization

정으로 연결되는 선형의 순정 및 모델링 작업은 선박설계 및 생산의 중요한 위치에 있으며, 신속한 작업과 원활한 정보흐름은 생산공기 단축에 효과적 역할을 한다.

국내중소형 조선소는 수작업으로 선형순정 작업을 행하고 있으며 대형 조선소에서는 선형순정과 선형모델링 작업을 선진조선국으로부터의 기술도입으로 전산화하여 이미 10년전부터 생산에 적용하고 있다. 그러나 기존 대형 패키지에서의 작업방식이 교차 페이닝에 의한 와이어프레임 모델링이므로 많은 수행 시간과 작업 경력을 필요로 한다. 70년대 후반부터 기하학적 처리에 있어서 컴퓨터를 이용한 요소 기술의 발달과 80년대 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전으로 점차 실제형상과 유사한 방법, 이를테면 선체 외판을 곡면(Surface)모델링으로 처리하는 연구가 많이 이루어 지고 있다. 그러나 곡면모델링을 실제 프로그램화하여 설계 및 생산에 적용시키기 위하여는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 선형의 곡면 모델링을 위한 효과적인 방법을 강구하였다. 즉 선형의 특징을 최소입력 자료로서 정의하는 기본 설계 계산패키지의 선형정의 모듈에서 선형의 곡면표현에 필요한 그릿 옵션을 산출하여 곡면 모델링을 수행하였다. 정의된 선형 곡면 모델을 사용하여 3차원적으로 직접순정하는 기법을 개발하였으며 순정된 곡면 모델로부터 선도작성 및 선형관련 설계, 생산 시스템과의 정보연계를 수행하였다. 또한 순정작업 과정에서 산출된 선체의외판의 기하학적 특성치들은 선형 특성치 지식베이스 구축에 사용될 수 있어[17] 선형 및 선각에 관한 전문가 시스템 개발의 기초 기술로 활용될 수 있을 것으로 믿어진다.

### 참 고 문 헌

[1] Rogers, D. F., Satterfield, S. G, Rodriguez, F. A., "Ship Hulls, B-Spline Surfaces and CAD/CAM", IEEE CG & A Dec. 1983.  
 [2] 윤병호, 서승완, 김원돈, 김광욱, "B-

- spline을 이용한 선체표면의 표현에 관한 연구”, 대한조선학회지 제22권 제3호 1985년 9월
- [3] Dill, J., Rogers, D. F., “Color Graphics and Ship Hull Surfaces”, ICCAS’82, 1982
- [4] Reese, D., “Fairing of Ship Lines and Ship Surfaces”, ICCAS’85, 1985
- [5] Lott, N. J., Pullin, D. I., “Method for fairing B-spline surfaces”, CAD, Vol. 20, No. 10, Dec. 1988.
- [6] Fog, N. G., “Creative definition and fairing of ship hulls using a B-spline surface”, CAD, Vol. 16, No. 4, July 1984
- [7] Collatz, G., Seiffert, E., “Interactive fairing of Ship Lines-A Procedure Developed for the Model Manufacture at the Hamburg Model Basin”, SNAME 1st SCAHD Symposium, Sept. 1977.
- [8] Foley. T. A., “Weighted Bicubic Spline Interpolation to Rapidly Varying Data”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 6, No. 1, Jan. 1987.
- [9] 小山健夫, 大和俗幸, 劉建平, “線圖の表現とフェアインワ”についての研究”, 日本造船學會論文集, 第166號, 1989年 11月
- [10] Nowacki, H., Reese, D., “Design and Fairing of Ship Surfaces”, Surfaces in CAGD, Apr. 1982.
- [11] Strobant, G., Mars, D., “Ship Hull Form Form Fairing”, ICCAS’82, 1982.
- [12] Barsky, B. A., Greenberg, D. P., “Determining a Set of B-spline Control Vertices to Generate an Interpolating Surface”, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 14, No. 3, Nov. 1980.
- [13] Peng, Q. S., “An algorithm for finding the intersection Lines between two B-spline surfaces”, CAD, Vol. 16, No. 4, July 1984.
- [14] Parsons, M. G. “Optimization Methods for Use in Computer-Aided Ship Design”, SNAME 1st STAR Symposium, Aug. 1975.
- [15] 김광욱, 김원돈, 서승완, “중소형조선소 공작전산화를 위한 전산 시스템개발”, 한국기계 연구소 UCN 134-1223.D 1988년 7월
- [16] Mumford, A. M. “Why care about the Computer Graphics Metafile?”, CAD, Vol. 19, No. 8, Oct. 1987.
- [17] Calkins, D. E. “An Automated Sculpted Surface CAD Procedure Based on High Level Computer Graphics and Expert System”, ASME International Computers in Engineering Conference, Aug. 1985.