

## 선형의 자동순정 및 모델링 시스템에 관한 연구

윤태경\* · 김동준\*\*

\*(주)한진중공업 기본설계부, \*\*부경대학교 조선해양시스템공학과

### A Study on the Automatic Fairing and Modeling System of Hull Form

TAE-KYOUNG YOON\* AND DONG-JOON KIM\*\*

\*Basic Design Dept., HanJin Heavy Industries & Construction Co. Ltd

\*\*Department of Naval Architecture & Marine System Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**KEY WORDS:** Surface fairing 곡면순정, Inverse fairing method 역순정법, Surface quality analysis method 곡면품질분석법 Object reflection line 목적반사선, Normal vector line 법선벡터곡선, Constrained reflection line 한정반사곡선

**ABSTRACT:** In this paper, a new technique of inverse fairing problem for ship hull is proposed. Recently, Lu solved the inverse fairing problem for automobile's body that was made by one surface element. In this system, however, hull surface is constructed by Gregory's composite surface interpolation method. So, reflection line at boundary position is used as a tool of solving inverse problem in surface fairing. But the results are not good. The new concepts of Normal vector line and Constrained reflection line are introduced as an alternative tool. Energy Minimization method for Normal Vector Line curve net and the inverse method for Constrained Reflection Line by using optimization technique are examined. And the final lines from this proposed surface fairing method shows good fairness.

## 1. 서 론

전통적인 2차원평면에 그려지는 선도를 순정하고자 할 때 가장 힘든 부분은 3부분의 2차원 곡선군이 모두 부드럽도록 하는 교차 순정작업이다. 컴퓨터의 발달로 순정 작업이 현도장에서 컴퓨터 화면으로 옮겨졌음에도 불구하고 이 부분은 여전히 어려운 부분으로 남아 있다.

그러나 한층 발전된 컴퓨터와 곡면에 대한 여러 가지 이론이 개발되면서 이러한 부분에 있어서도 컴퓨터를 이용한 순정의 자동화가 시도되고 있다(Kaufmann and Klass, 1998; Rong et al, 1991; Liden and Westberg, 1998). 국내에서도 1985년 곡면을 이용하여 선형을 표시하려는 연구가 있는 이후로 직접 곡면을 순정하려는 방법 등 여러 연구가 시도되었다(김 등, 1991; 신 등, 1994; 김과 윤, 1994; 김, 1994; 정과 김, 1996).

일반적으로 이러한 순정 작업은 곡선의 경우 곡률을, 곡면의 경우 Gaussian 곡률 혹은 반사선(reflection Line) 등을 이용하여 순정 결과를 판단한다. 즉 앞의 여러 가지 방법을 이용하여 순정을 한 뒤, 곡률이나 반사선 등을 이용하여 순정도를 판단하고 만족할 만한 결과를 얻을 때까지 이를 반복한다.

한편 컴퓨터를 이용한 순정의 한가지 방법으로서 목적곡선(예를 들면 곡선의 곡률분포)을 결정하고, 이러한 목적곡선을 만족하도록 직접 곡선을 수정하는 방법이 개발되어 선형의 순정에 적용된 바가 있다(윤과 김, 1999). 이러한 역문제법은 자동차 산업에서 시작된 것으로 자동차의 곡면 순정에서 이미 적용된 바가 있다(Lu, 1995).

본 연구에서는 선박 곡면의 순정에 대해서 이러한 역문제법을 적용해보고자 한다.

## 2. 곡면의 순정도 및 검토방법

곡면의 순정도를 검토할 수 있는 방법은 크게 곡선분석법, 곡률분석법 그리고 반사선분석법의 세 가지 종류로 구분할 수 있다(윤과 김, 1997).

곡선분석법은 곡면상의 곡선군, 즉 매개변수선(isoparametric line), 평면교차곡선(plane intersection curve) 등을 통해 곡면의 경향 및 순정도를 파악하는 방법이다. 계산이 간단하고 분석이 용이한 반면, 정확한 판단을 위해서는 많은 양의 반복계산과 자료가 필요하게 되어 일목요연한 판단기준을 제공하지 못한다는 단점이 있다.

곡률분석법은 주곡률(principal curvature)의 굽의 형태로 표시되는 Gaussian 곡률을 이용하여 그 값의 부호 및 크기의 변화가 부드러운가를 판단하여 곡면품질분석의 지표로 삼는 방법이다(Farin, 1988). 곡률분석은 두 번 미분한 값을 분석기준으로 사용하므로 일목요연한 불량영역을 나타낼 수 있으나, 분석자의 세심한 주의가 필요할 정도의 과도한 민감도를 가지므로 경우에 따라서는 미소 불량영역을 지나쳐버릴 가능성도 있다.

최근에 적용되기 시작한 반사선분석법은 빛의 반사원리를 응용한 방법으로, 곡면의 법선벡터에 따라 결정되므로 한 번 미분한 값이 분석기준으로 사용된다. 그 중 명암(shading)법은 대상물체에 반사되는 빛의 강도를 계산하고, 색채모델을 이용하여 화면상에 나타냄으로써 순정도 검증이 가능하다. 반사특성곡선(reflection

characteristic line) 중의 하나인 Highlight Line/Band(Beier and Chen, 1994), Isophote Line(Poeschl, 1984) 등의 기법은 이들 곡선을 다시 조작하여 곡면의 순정에 역이용할 수 있다는 커다란 장점 때문에, 최근 이에 대한 연구가 활발하다.

2.1 반사선 분석법

2.1.1 Highlight Line 분석법

Highlight Line은 벡터로 이상화된 광원과 곡면의 법선벡터사이의 수직거리(perpendicular distance)가 0인 곡면상의 점들의 집합으로 정의된다(Beier and Chen, 1994). 광원벡터  $L$ 와 법선 벡터  $N$ 사이의 수직거리  $d$ 는 다음과 같다.

$$d = \frac{(L \times N) \cdot (A - Q)}{|(L \times N)|}$$

여기서  $A$  : 벡터  $L$ 의 시작점  
 $Q$  : 벡터  $N$ 의 시작점

Highlight Line의 일반화된 형태인 Highlight Band는 광원을 반경  $r$ 을 갖는 실린더형태로 가정하고, 대각거리가  $d \leq r$ 을 만족하는 곡면상 점들의 집합으로 정의된다.

이들은 곡면을 한 번 미분한 값의 분포로부터 생기는 결과이기 때문에 곡선의 순정정도에 따라 곡면의 순정도를 판단할 수 있고, 특히 여러 개의 곡면 조각을 혼합할 때 발생하는 연속조건의 검색 또한 용이하다. 다시 말하면, 결과곡선의 연속조건은 곡면의 연속 조건보다 하나 낮은 차수(order)를 갖게 되므로, 곡률 불연속은 벡터 불연속이 되며, 벡터 불연속은 위치 불연속이 되어 부여된 연속조건을 쉽게 판단할 수 있다. 또한 광원을 고정시켰을 때는 결과곡선이 분석자의 시선방향과 무관하게 결정되므로 검색이 자유롭게 되어 프로그램 하기에 유리한 장점을 갖고 있다.

Highlight Line/Band의 경계(boundary)는 이론적으로 1계 비선형 편미분 방정식의 형태가 되므로, 해석해를 얻기에 어려움이 따른다. 따라서 이의 근사해를 얻기 위한 방법으로서 평면-곡면 교차문제(plane-surface intersection problem)를 생각할 수 있다. 즉 곡면의 각  $u, v$ 에서 거리함수(distance function)  $d(u, v)$ 를  $u, v$ 영역에서 단일 값을 갖는 곡면(distance surface)의 형태로 표시하여,

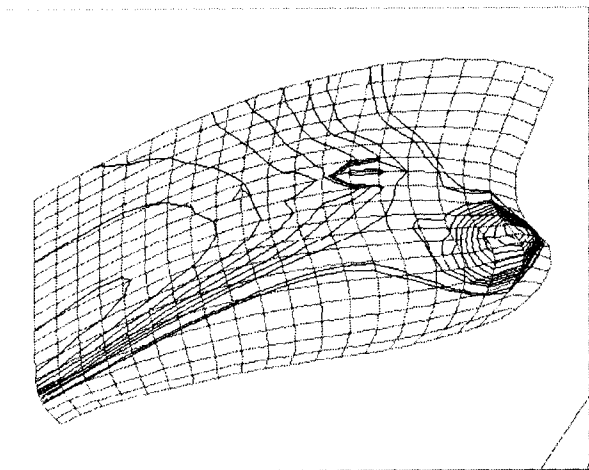


Fig. 1 Example of highlight line

$d = const$ 인 평면과 곡면을 교차시키면 일정거리에 있는  $u, v$ 를 결정할 수 있고, 이를 원시 곡면에 매핑하여 원하는 곡선을 얻을 수 있다. 이 방법은 거리 곡면을 구성하는  $u, v$ 의 밀도에 따라 해석해에 근접하게 된다. Fig. 1에 highlight line에 대한 예를 보였다.

2.1.2 Isophote Line 분석법

Isophote Line 분석법은 Highlight Line 분석법과 유사한 성질을 갖는 방법으로, 빛의 반사형태를 빛의 강도를 사용하여 나타내게 된다. 따라서 Isophote Line을 얻는 방정식의 해는 곡면의 법선벡터  $N$ 과 광원벡터  $L$ 이 이루는 각도  $\alpha$ 에 의해  $N \cdot L = \cos(\alpha) = const$ 로 얻어진다. 본 논문에서는 평면 곡면 교차문제와 콘투어링 기법을 사용하여 근사해를 구하였다. Fig. 2에 예제 선박에 대한 예를 보였다.

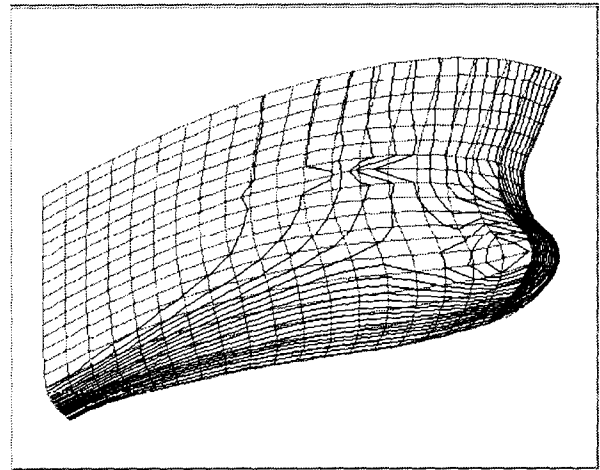


Fig. 2 Example of isophote line

3. 곡면순정

곡면순정에 관한 연구는 곡면의 스트레인 에너지를 최소화 하도록 조절점을 움직이는 김(김 등, 1991), Lott(Lott and Fullin, 1988)의 방법, 반사선을 직접 수정곡면의 생성에 이용하는 Lu(Lu, 1995) 방법, 또는 특성곡선을 곡면품질의 기준으로 삼아 곡선의 스트레인 에너지를 최소화하는 Liden(Liden and Westberg, 1993) 방법 등이 있다. 그러나 이들 연구는 모두 사각형 토폴로지를 갖는 정규곡면에 대하여 적용한 것으로 선체 곡면에 대해서는 곡면화의 방법론에 근본적인 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서의 곡면화 방법인 비정규 토폴로지의 GC<sup>1</sup> 곡면에 대해서 위의 방법들을 적용하기 위해서는 추가적인 고려가 필요하다.

김, Lott의 방법은 Gregory 면조각에 대해서도 스트레인 에너지와 최적화 기법을 통해 그대로 적용 가능하기 때문에 본 논문에서도 접근해 볼 수 있는 방법이라 할 수 있다. 다만 Gregory 면조각 보간방법은 사각형과 비사각형의 정도차이가 크기 때문에 비사각형의 보간방법을 재검토할 필요가 있다.

Lu의 방법은 면조각 간의 접속조건에 의해 형성되는 조합곡면(composite surface)에 대해서는 위상관계의 고려가 필요하기 때문

에 직접 적용하기가 곤란하다.

Liden의 방법은 반사선을 품질기준으로 삼은 경우 적용 가능하지만, 실제 검토해본 결과 GC<sup>1</sup> 접속의 영향에 의해 각 면조각의 경계곡선 위에서 반사선이 C<sup>0</sup>연속만을 만족하기 때문에 곡면 전체에 걸친 반사선의 스트레인 에너지 최소화가 큰 의미를 갖지 못한다. 다만 반사선을 경계곡선 위에서만 고려할 경우는 나름대로의 효과를 기대할 수 있다.

### 3.1 스트레인 에너지 최소화 방법

영역 R에서 곡면 r(u, v)가 갖는 스트레인 에너지 U는 주곡률 k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>에 의해 다음과 같이 근사된다.

$$U = \int \int_R (k_1^2 + k_2^2) dudv$$

$$k_1 k_2 = \frac{LN - M^2}{EG - F^2}$$

$$k_1 + k_2 = \frac{NE - 2MF + LG}{EG - F^2}$$

$$E = r_u r_u, \quad F = r_u r_v, \quad G = r_v r_v$$

$$L = n r_{uu}, \quad M = n r_{uv}, \quad N = n r_{vv}$$

n : Surface Normal Vector

$$r_u = \frac{\partial r}{\partial u}, \quad r_v = \frac{\partial r}{\partial v}, \quad r_{uv} = \frac{\partial^2 r}{\partial u \partial v}$$

최적화 과정은 영역 R내에 포함되는 전 Gregory 면조각의 스트레인 에너지 총합을 목적함수로 하고 대상 면조각의 경계곡선들이 갖는 데이터 점을 설계변수로 하여 순차이차계획법(SQP, sequential quadratic programming)에 의해 수행된다. 제한조건은 설계변수의 최대이동거리를 임의로 줄 수 있게 하여 곡면이 무한정 퍼지는 것을 억제하였다.

$$\text{목적함수} : F(\vec{X}) = \sum_{i=1}^m U_i$$

$$\text{제한조건} : |x'_j - x_j| \leq dev$$

- 여기서 x'<sub>j</sub> : 수정 설계변수
- x<sub>j</sub> : 원시 설계변수
- dev : 최대 이동거리
- m : 면조각의 개수

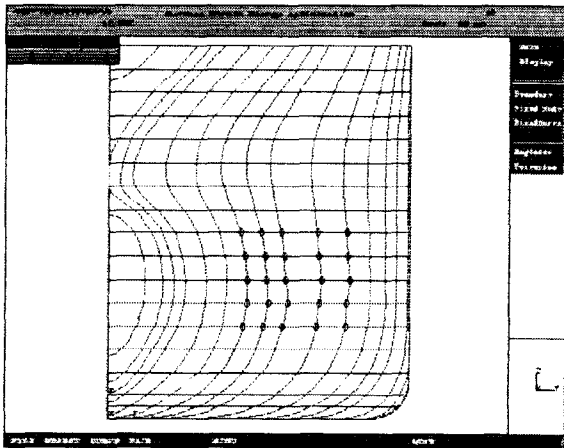


Fig. 3 Data of surface fairing

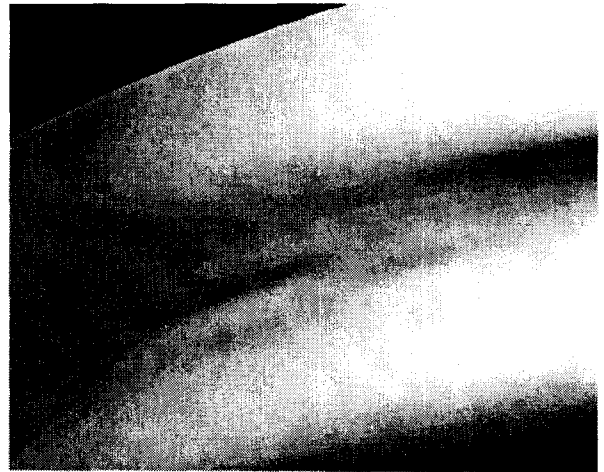


Fig. 4 Shading image of bad fairness region

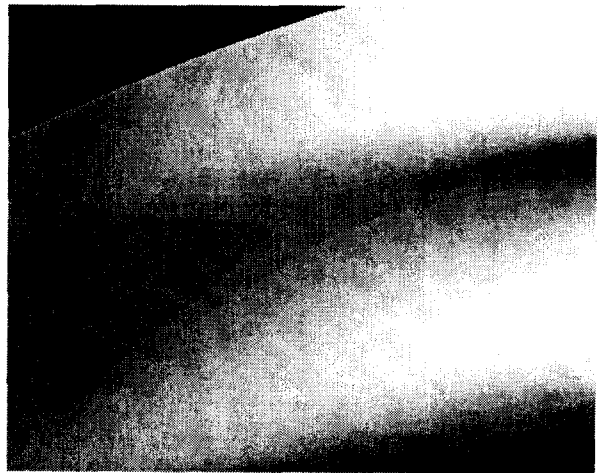


Fig. 5 Shading image after surface fairing

Fig. 3은 영역 R과 설계변수, 원시곡선을 보이고 있고, Fig. 4는 불량영역을 명암법에 의해 가시화한 그림이며, Fig. 5는 최적화 결과를 표시한 그림이다.

이러한 곡면의 스트레인 에너지 최소화 방법의 문제점은 먼저 설계변수의 이동거리만을 제한조건으로 하기 때문에 적절한 최적화의 완료조건 설정이 어렵다는 것이다. 그리고 여기서 사용한 곡면이 GC<sup>1</sup>곡면이었기 때문에 곡면의 경계부분이 퍼지는 경향을 보이고, 곡면의 스트레인 에너지 차이가 큰 경계에서는 큰 쪽의 영향에 의해 작은 쪽의 변화가 충분히 고려되지 못하는 문제점도 발생하였다.

## 4. 곡면순정의 역문제

### 4.1 곡면순정의 역문제법 적용

곡면의 역문제는 원시곡면의 반사선을 원하는 방향으로 이동하여 목적반사선을 구하고 이러한 목적반사선이 얻어지도록 곡면을 수정하는 것이다. 그러나 이 경우 원시반사선이 3차원 공간에서

정의되는 공간곡선이기 때문에 목적반사선을 구하는 것에서부터 어려움에 직면하게 된다. 반사선은 같은 반사특성을 갖는 곡면 법선벡터의 궤적이므로 궤적 자체가 곡면상에 존재하여야 하기 때문이다. 또한 반사선의 이동량이 많으면 그 만큼 곡면 자체가 많이 변화하여야하므로 이러한 조건을 만족하는 결과를 얻기가 어렵다.

이런 문제로 인하여 Lu(Lu, 1995)는 최적화 기법을 이용하여 새로운 곡선을 찾아가는 곡선 역문제법의 경우와는 다른 방법을 이용하여 새로운 곡면을 생성하였다. Lu에 따르면 곡면 역문제의 경우 목적 반사선을 얻고, 이 곡선의 Zeroth 및 1st Order 정보를 이용하여 새로운 곡선망을 구성한 후, 이를  $C^2$  블렌딩하여 새로운 곡면을 얻었다.

본 논문에서는 먼저 곡선의 경우와 같이 최적화 기법을 이용하여 곡면을 찾아가기 위하여, 최소자승법을 이용하여 생성한 목적반사선과 수정곡면에서 얻어지는 반사선과의 차이를 최소로 하는 최적화문제를 검토하고자 하였다. 곡선의 역문제와는 달리 설계변수와 제한조건은 다음과 같다.



Fig. 8 Shading image after inverse method fairing

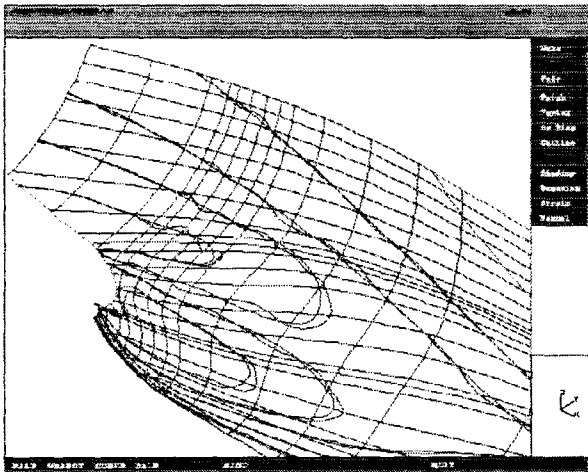


Fig. 6 Comparative of original reflection line and object reflection line

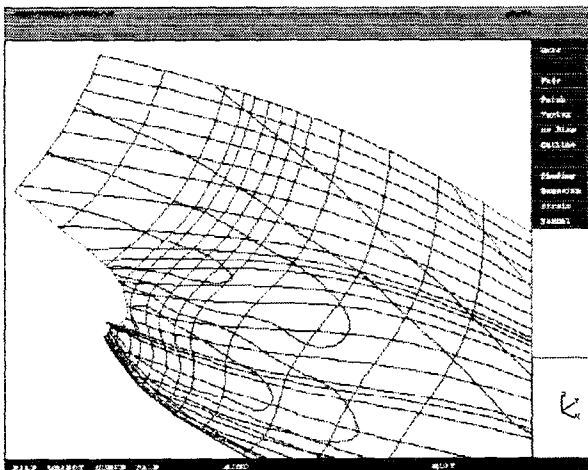


Fig. 7 Reflection line after fairing

$$\text{목적함수 : Minimize } \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m (Q_j - P_j)^2$$

$$\text{제한조건 : } |x'_i - x_i| \leq dev$$

$$(i=1, 2, \dots, n2), (k=1, 2, \dots, l)$$

- 여기서  $Q_j$ :  $k$ 번째 목적반사선의 목적점의 위치
- $P_j$ :  $k$ 번째 수정반사선의 대응점의 위치
- $l$ : 반사선의 개수
- $m$ : 목적점의 개수
- $x'_i$ : 수정 설계변수
- $x_i$ : 원시 설계변수
- $dev$ : 최대 이동거리
- $n2$ : Node의 개수

Fig. 6에 최소자승법에 의해 구해진 목적반사선을 표시하였고, Fig. 7에 수정 후의 반사선과 Fig. 8에 결과곡면을 표시하였다.

여기서  $GC^1$  곡면을 사용함으로써  $GC^0$  곡면의 반사선은 면조각의 경계에서  $C^0$  조건만 만족하게 되므로 목적반사선과의 차이가 크며, 따라서 경계의 영향을 크게 받는 문제점이 발생하게 된다.

그리고 스트레인 에너지 최소화법에서와 마찬가지로 설계변수의 이동거리를 제한조건으로 하는데서 오는 문제점은 역시 같이 발생하며 특히 최소자승법으로 얻어진 목적반사선은 곡면의 위치를 포함하는 것은 아니기 때문에 이동거리를 제한조건으로 설정하는 데에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 역문제법을 직접 곡면에 적용하지 않고 다음과 같은 방법을 제안하고 있다.

#### 4.2 곡면순정에 역문제법 적용을 위한 제안

본 논문에서는 최적화 기법을 이용하여 곡면을 찾아가는 역문제법을 곡면 순정에 적용하기 위하여, 이를 적용하기 전에 곡면을 곡선망 순정기법을 이용하여 먼저 순정하도록 하였다. 왜냐하면 역문제법이란 비선형 최적화문제로 목적곡선이 현재의 것과 너무 많은 차이를 보일 때 해를 못 찾는 경우가 발생하기 때문이다. 곡면의 경우 곡선보다는 변수가 더 많아지므로 개략적인 순정의 필요성이 더 커지게 된다. 그러나 곡면을 이

루는 곡선망에 직접 적용하기보다는 이를 한 번 미분한 곡선망(Normal Vector Line)을 이용하였다.

그리고 곡면의 역문제도 앞에서 살펴본 여러 가지 문제점들을 피하기 위하여 직접 곡면에 적용하기보다는 반사특성치들의 곡선망(Constrained Reflection Line)에 대해 적용하였다.

4.2.1 Normal Vector Line을 이용한 전체적인 순정

Normal Vector Line(NVL)법은 곡선에 있어서 한번 미분하면 순정되지 못한 정도가 확대되어 나타나는 성질을 이용하기 위하여 고안된 방법이다. NVL이란 3차원 공간 곡선으로  $Q = R + a \cdot N$  으로 표시되는 점들을 이은 곡선이다. 여기서  $R$ 은 곡선망의 절점(Mesh Node)을 나타내고  $N$ 은 그 절점에서 단위 법선 벡터이며  $a$ 는 상수이다. 따라서 NVL이란 곡면을 구성하는 곡선망의 절점에서 법선 벡터방향으로 적절한 크기로 이동시킨 점들을 이은 3차원 곡선으로 물리적으로는 곡선망을 한번 미분한 곡선망을 의미한다. NVL 곡선망을 순정하게 되면 한번 미분한 것을 순정하는 것이 됨으로 직접 곡선망을 순정하는 것보다는 효율적이다.

곡선망을 순정하는 방법은 여러 가지가 발표되어 있으나 본 연구에서는 곡선망의 스트레인 에너지 합 최소화 방법을 사용하였다.

$$\text{목적함수 : } \text{Minimize } \sum_{i=1}^n \int_i (P'')^2 dt$$

$$\text{제한조건 : } |x'_i - x_i| \leq dev$$

- 여기서  $(P'')^2$  : NVL의 스트레인 에너지
- $n3$  : Node의 개수
- $x'_j$  : 수정 설계변수
- $x_j$  : 원시 설계변수
- $dev$  : 최대 이동거리

여기서 사용된 최적화 기법으로는 다변수 최적화 문제의 개략적인 초기해를 구하는데 적합한 Random Search Algorithm이 적용되었다.

Fig. 9는 NVL에 의한 순정과정을 나타내고, Fig. 10은 그 결과에 의한 곡선망이다.

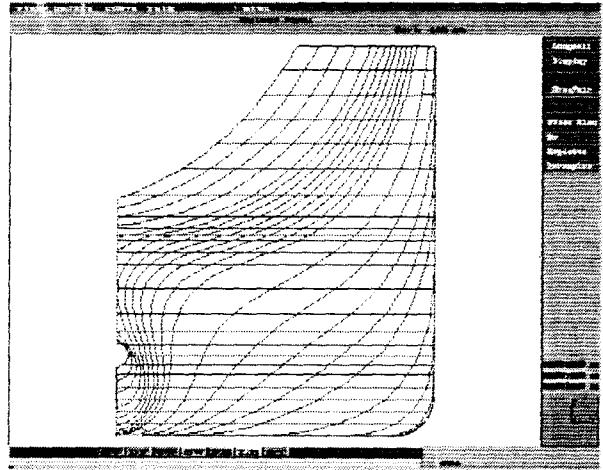


Fig. 10 Result Hull Form after NVL Fairing

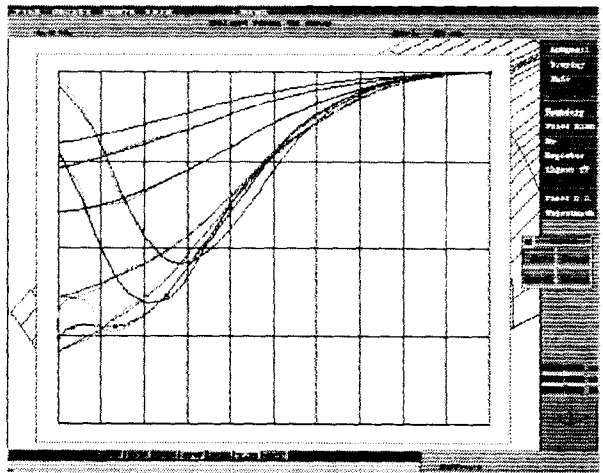


Fig. 11 Original and Desired CRL for Waterline

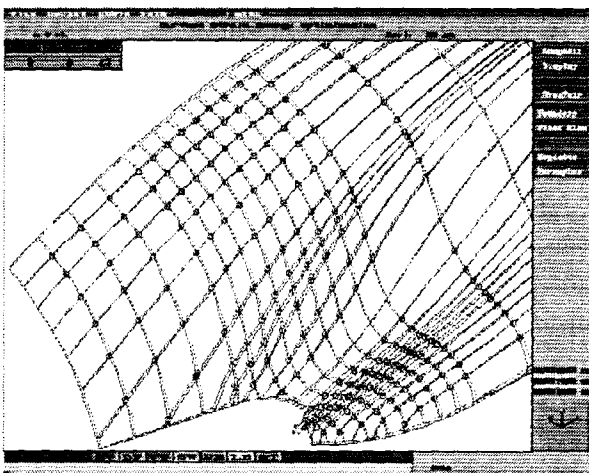


Fig. 9 NVL Fairing by Optimization

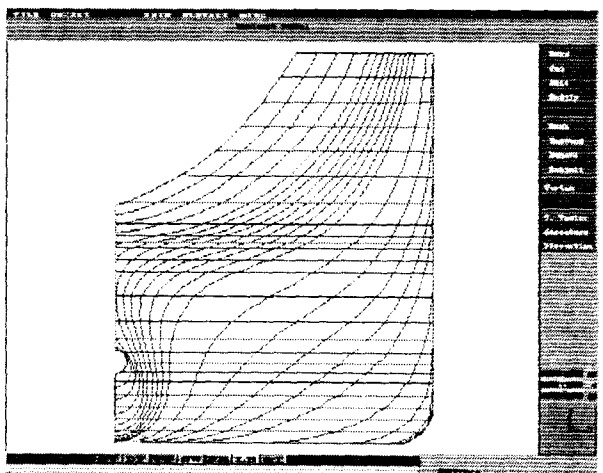


Fig. 12 Result Hull Form from CRL Fairing

4.2.2 Constrained Reflection Line을 이용한 곡부적 순정

Constrained Reflection Line(CRL)은 Fig. 11에 표시된 것과 같이 곡면에 포함되어 있는 곡선의 매개변수 값을 가로축으로 하고, 그 값에서의 곡면 반사특성치( $C_R$ )를 세로축으로 하여 얻어지는 2차원 곡선이다. 여기서 반사특성치는  $C_R = a(N \cdot S)$ 로서  $N$ 은 단위 법선 벡터이고,  $S$ 는 주어진 일정한 광원 벡터를 나타내며,  $a$ 는 상수이다. 즉 반사특성치란 빛을 비추면 나타나는 곡면의 기하학적 특성이다. 본 연구에서는 곡면위의 곡선으로 조합곡면의 경계곡선을 택하였다.

이러한 개념을 도입한 것은 앞서서도 언급한 바와 같이 반사선이란 곡면 위에 존재하는 3차원 곡선이므로 역문제의 목적반사선을 만들기 어렵기 때문이다.

이러한 CRL에 대해 단일 곡선에 적용하던 역문제법을 동일하게 적용하여, 목적 CRL을 주고 최적화기법을 이용하여 원하는 반사특성치를 갖는 곡면의 절점을 구한다. 즉 CRL을 이용한 역문제법은 곡선망에 대한 역문제법이라 할 수 있다.

목적함수 :  $Minimize \sum_{j=1}^n (Q_j - P_j)^2$   
 제한조건 :  $|C_R^i - C_R^D|_i \leq dev \quad (i=1, 2, \dots, n5)$

여기서  $Q_j$  : 원시곡선위의 점  
 $P_j$  : 수정곡선위의 점  
 $n4$  : Node의 개수  
 $C_R^i$  : 수정곡선의  $C_R$ 값  
 $C_R^D$  : 목적  $C_R$ 값  
 $dev$  : 최대 이동거리  
 $n5$  :  $C_R$ 값 계산 개수

Fig. 11은 NVL에 의해 1차 순정된 선형의 수선에 대한 CRL과 목적 CRL의 예이고, Fig. 12는 이러한 목적 CRL을 만족하도록 순정이 완료된 후의 곡선망 그리고 Fig. 13은 최종 곡면의 Rendering Image이다.

5. 결 론

곡면에 대해 역문제법을 적용하여 순정하고자 하였다. 먼저 곡선에서의 곡률 분포와 같이 곡면에 대해서도 품질을 분석할 수 있으며, 역문제에도 적용할 수 있는 곡면품질분석방법을 찾 고자하였다.

곡면에 대한 역문제법의 적용은 단일 곡면의 경우 반사곡선을 이용하여 Lu가 제안한 방법을 바로 적용할 수도 있으나, Gregory법을 이용하여 곡면을 생성하고자 할 경우에는 기하학적 연속조건을 만족시키고 있기 때문에 이러한 방법을 직접 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 최적화 기법을 이용한 역문제법을 적용하기 위하여 새로운 최적화 문제를 검토하였으며, 최종적으로 새로운 방법을 제안하였다. 곡선망에 대해 곡면의 반사특성치 곡선을 이용하여 역문제법을 적용하는 방법이다. 그리고 역문제는 곡선의 경우와 같이 비선형 문제이고, 이의 해를 찾는 과정이 SQP법을 사용하므로 목적 곡률분포와 원시 곡률분포와의 차이가 크면 해를 찾지 못하는 경우가 발생한다. 따라서 역문제의 원활한 적용을 위해 NVL을 이용한 순정작업을 거치는 것을 제안하였으며, 최종 얻어진 결과는 Fig. 14에서와 같이 좋은 순정도를 보이고 있다.

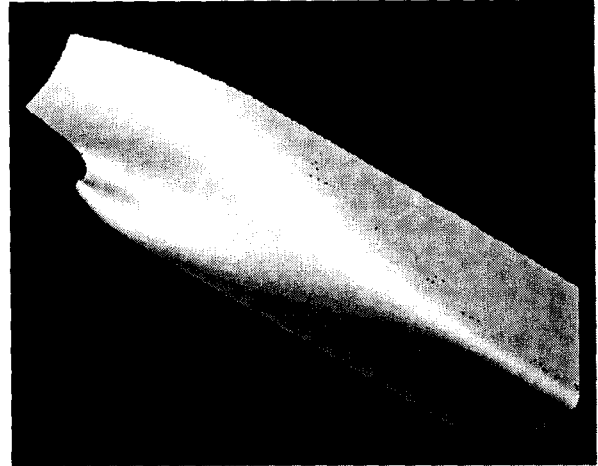


Fig. 13 Rendering image of final surface

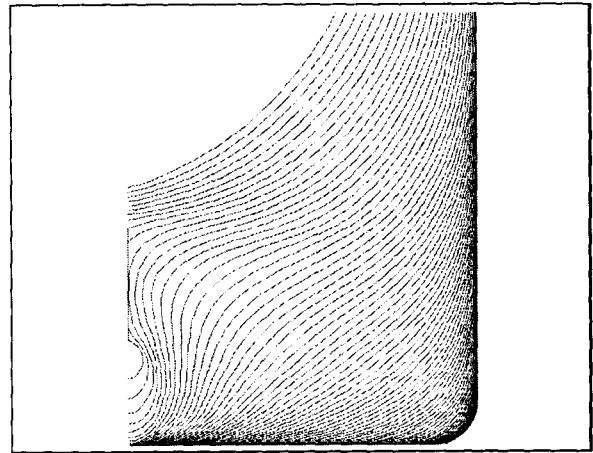


Fig. 14 Final result of frame lines

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 971-1011-062-2) 지원으로 수행된 결과의 일부로 한국과학재단의 지원에 감사드린다.

참 고 문 헌

김동준(1994). "선형 순정의 전산화에 대한 연구", 삼성중공업 연구 과제 최종보고서.  
 김동준, 윤태경(1994). "선형의 순정 기법에 관한 기초 연구", 대한조선학회논문집, 제31권, 2호.  
 김원돈, 남종호, 김광욱(1991). "선형의 기하학적 모델링을 위한 직접순정법에 관한 연구", 대한조선학회지, 제28권, 1호.  
 신현경, 신상성, 박규원(1994). "선체형상 정의를 위한 벡터스 산출 알고리즘 개발에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제31권, 3호.  
 윤태경, 김동준(1997). "선형순정을 위한 곡면품질분석법", 대한조

- 선학회 '97 춘계학술대회 논문집.
- 윤태경, 김동준(1999). "개선된 직접 곡률 조작법을 이용한 선형의 순정", 한국해양공학회지, 제13권, 4호.
- 정수원, 김동준(1996). "선박 수선의 순정에 관한 연구", 한국어업 기술학회지, 제32권, 1호.
- Beier, K. P. and Chen, Y.(1994). "Highlight-line algorithm for realtime surface-quality assessment", CAD, Vol. 26 No 4.
- Farin, G.(1998). "Curves and Surface for Computer Aided Geometric Design", ACADEMIC PRESS.
- Kaufmann, E. and Klass, R.(1998). "Smoothing Surfaces Using Reflection Lines for Families of Spline", CAD, Vol. 20, No. 6.
- Liden, G. and Westberg, S. K. E.(1993). "Fairing of Surface with optimization techniques using FANGA Curves as the quality criterion", CAD Vol. 25 No. 7, pp 411~420.
- Liden, G. and Westberg, S. K. E.(1998). "Fairing of Surface with optimization techniques using FANGA Curves as the quality criterion", CAD, Vol. 20, No. 10.
- Lott, N. J. and Pullin, D. I.(1998). "Method for Fairing B-splines Surfaces", CAD, Vol. 20, No. 10.
- Lu, Yun(1995). "Direct Manipulation of Curve and Surface Properties using a Piecewise Polynomial Basis Function", Ph. D. Dissertation, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Poeschl, T.(1984). "Detecting Surface Irregularities using Isophotes", CAGD.
- Rong, H., Chen, G. and Zhang, W.(1991). "Nonuniform B-spline Mesh Fairing Method", ICCAS91.

---

2000년 4월 11일 원고 접수

2000년 5월 18일 수정본 채택