韓國海洋工學會誌 第13卷 第4號, pp.169~173, 1999. 11

◉ 論 文

개선된 직접 곡률 조작법을 이용한 선형의 순정

윤 태 경* · 김 동 준**

(99년 7월 14일 접수)

Hull Fairing by Modified Direct Curvature Manipulation Method

Tae Kyeong Yoon* · Dong Joon Kim**

Key Words : Hull Fairing(선형 순정), Direct Curvature Manipulation(직접곡률조작법),

Abstract

In this paper some modifications for Lu's inverse method of fairing process are presented. The object function is changed and additional constraints for hull curve fairing is proposed. The newly introduced minimizing object function is the sum of the distances between the two curve's positions at the same parameter values instead of the sum of the distances between two vertices. The new one is better to represent the physical meaning of the object function, the smaller differences between two curves. In ship hull fairing the end tangent of curve has to be fixed in some cases, so the additional constraint is considered to preserve the direction of end tangent. The sample results are shown.

1. 서 론

선형은 우선 기본설계 단계에서 수조시험모델용의 순정을 수행한 후, 생산용 선도를 얻기 위한 반복작업에 의해 완성된다. 순정작업은 초기에는 현도장에서 수작업에 의해 이루어지던 것이 몇몇 선체 CAD 시스템(Autokon 등)의 일관 작업 처리 등으로 일부 전산화되었고, 현재에는 3D 그래픽 시스템을 사용한 컴퓨터를 이용하여 주로 이루어지고 있다.

컴퓨터를 이용한 순정의 방법은 크게 에너지법(Energy Method)과 Local Spring Back Method로 구분할 수 있다. 곡선을 탄성 빔(Beam)으로 보고 내부 굽힘 모멘트를 최소로 하는 쪽으로 순정하는 에너지법에 대해서는 Kjellander[1,2]의 연구가 있다. 그리고, 곡선을 웨이트(Weight)로 지지된 스플라인으로 보아 의심스러운 점에서 웨이트를 제거해 의심스러운 점 양쪽의 3차 미분의 차를 최소화하는 Local Spring Back Method는 Farin[3,4] 등에 의해 연구되었다.

* (주)한진중공업 설계실
** 종신회원, 부경대학교 조선해양시스템공학과

국내에서도 신 등[5]은 3차원 곡선의 순정에 대해 발표하였고, 김 등[6~9]은 에너지 방법을 이용하여 곡선망의 순정에 관한 연구를 수행한 바가 있다. 곡면의 직접적인 순정에 대해서는 김 등[10]의 연구가 있다.

곡선의 순정도는 일반적으로 곡률분포의 변화에 의해 판단하게 된다. 즉 주어진 점을 임의로 또는 수치적으로 구한 이동량만큼 움직여서 만들어진 새로운 곡선의 곡률분포를 곡선의 형태나 Porcupine 등으로 표현하여 그 분포와 변화의 정도가 부드러운가에 따라 순정작업의 계속 여부를 판단하게 된다.

한편, Lu[11]는 목적곡률분포가 주어진 경우 이를 만족하는 곡선을 역으로 찾아가는 방법을 제안하였다. 이러한 역문제의 해는 곡률이 곡선의 2차 미분을 필요로 함으로 비선형문제가 되며 해석적으로 이를 구하기가 어렵게 된다. 따라서 Lu는 순차이차계획법(Sequential Quadratic Programming)에 의한 근사해를 구한 결과를 보여주고 있다.

그러나 자동차의 곡면에 적용하고자 제안된 Lu의 방법을 선형의 순정에 그대로 적용하기에는 목적함수 등이 문제되는 경우가 발생하였다. 즉 목적함수를 근사하는 과정에서 Lu가 택한 방법이 선형 순정의 경우 적절히 근사시키지 못하는 경우가 발생하였다. 또한 곡선의 끝점에서의 기울기를 유지하기 위해서는 새로운 조건이 추가되어야 했다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 하였으며, 현실적으로 목적곡률 분포함수를 쉽게 구할 수 있는 과정도 제안하였다.

2. 직접곡률조작법의 수정

2.1 목적함수의 수정

우선 Lu의 방법을 살펴보면, 조절점을 설계변수로 하여 조절점의 이동량을 제곱하여 목적함수로 취하였고 제한조건은 주어진 허용한계 내의 곡률값으로 하였다

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

여기서 Q_j: 원시곡선의 조절점
P_j: 수정곡선의 조절점

제한조건 : $k'_i \leq k_i + tol$
$k'_i \geq k_i - tol \quad (i = 0, 1, \ldots, n)$

여기서 k'_i : 수정곡선의 곡률
k_i : 목적 곡률값
tol : 허용오차

여기서 목적함수의 물리적 의미는 두 곡선간의 차이를 나타내지만 엄밀한 의미에서는 두 곡선으로 둘러싸인 면적의 합이라 할 수 있다. 그러나 이의 계산은 목적함수의 계산 시간을 증가시키므로 근사하여 나타내는 것이 바람직하다. 이와 같은 이유로 Lu는 조절점의 이동량으로 이를 근사하고 있다. 그러나 이러한 근사방법은 경우에 따라 적절하지 못한 경우를 발생시킨다. 예를 들면 조절점이 일정 크기만큼 평행 이동하여 생기는 곡선은 두 곡선의 차는 거의 없는 반면 조절점의 이동량은 커지게 되며, 혹은 반대의 경우도 생기게 된다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 선박의 수선(Waterline)에서 쉽게 나타날 수 있는 곡선의 형태를 예로 들어 설명해보자. 4개의 조절점으로 구성된 원래의 곡선과 이때의 조절점을 이은 선을 실선으로 표시하고, 강제적으로 중간의 2개의 조절점을 이동시킨 두 가지 곡선과 조절점을 이은 선을 점선과 일점쇄선으로 표시해보자. 두 가지 변화된 곡선은 조절점 이동량의 합이 같도록 하고 이동방향을 두 가지가 반대 방향으로 한 극단적인 경우를 생각해보자. Lu가 제안한 방법에 따르면 이들 두 경우의 목적함수는 같아지지만 결과로 얻어진 곡선의 경우 상당한 차이를 보이고 있다. 이럴 경우 원하는 순정된 곡선을 얻는 방향으로 탐색이 진행되지 못한다는 것을 알 수 있다.

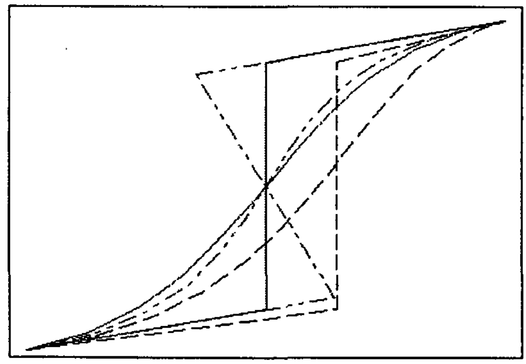

Fig. 1 Counter Example of Lu's Approximation

이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 원시곡선의 어떤 파라메타 값에서의 점으로부터 탐색된 수정곡선의 같은 파라메타 값에서의 점까지 거리의 합으로 목적함수를 수정하였다.

$$Minimize \ \sum_{j=1}^{m}(Q_j - P_j)^2$$

여기서 Q_j 는 어떤 파라메터 값에서의 원시곡선 위의 점이며, P_j 는 같은 파라메타 값에서의 수정곡선 위의 점이다.

2.2 추가된 제한 조건

선형의 곡선 순정의 경우 곡선의 끝점에서의 기울기(벡터 방향)가 매우 중요한 성질을 가진다. Fig. 2에서 보다시피 선형의 수선의 경우 선수미부의 끝점에서는 중앙선에 대해 직각이 되어야하고, 중앙평행부의 끝점에서는 중앙선에 대해 평행이 되어야 한다. 따라서 Lu의 경우에서와 같이 설계변수의 자유도를 모두 허용하면 곡선 끝점에서의 주어진 벡터 방향을 만족시킬 수 없으므로 끝점과 인접점으로 이루어지는 벡터방향을 다음과 같은 제한조건을 추가하여 유지시킬 수 있도록 하였다.

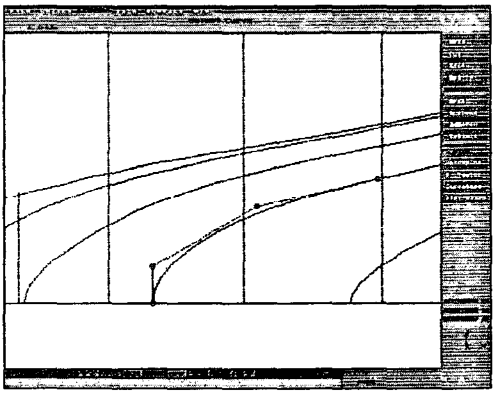

Fig. 2 Fixed end tangent vector of waterline

$$1 - tol \le \left(\frac{Q_2 - Q_1}{|Q_2 - Q_1|}\right) \cdot \left(\frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|}\right) \le 1 + tol$$

여기서 Q_2 , Q_1는 원시곡선에서 고정벡터를 갖는 끝점과 인접점이고, P_2, P_1 는 수정곡선에서 고정벡터를 갖는 끝점과 인접점이다.

물론 끝점에서의 벡터방향을 미리 결정해줄 수 없는 경우에는 이러한 제한조건은 적용할 필요가 없으므로 제외하였다.

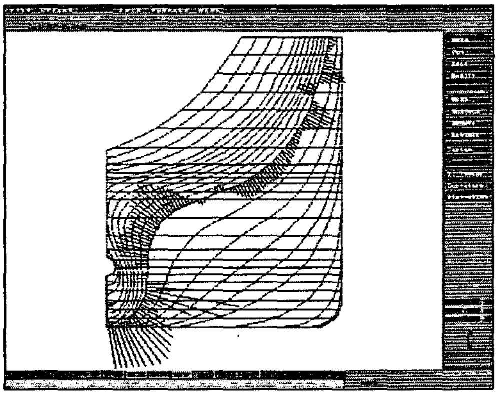

Fig. 3 Curve fairing by direct manipulating curvature curve(Initial curvature distribution)

3. 목적곡률분포곡선의 설정

목적곡률분포곡선을 설정할 때 주의해야 할 점은 곡률총합이 원시곡선과 많은 차이를 보여서는 안 된다는 것이다. 그런 경우는 원시곡선의 이동이 커야하므로 경우에 따라서는 조절점이 서로 교차됨으로 인해서 급격한 곡률의 변화가 일어나게 되어 탐색방향의 설정이 어려워지게 된다. 이럴 경우 순차이차계획법 등의 최적화 기법들은 적절한 해를 주지 못한다. 따라서 적절한 목적곡률분포곡선을 정하는 것이 중요하다.

그러나 설계자가 이를 고려하여 일일이 분포곡선을 구성하는 것은 지루한 작업이 될 수 있고, 또한 적절한 곡선 형태를 갖추기도 쉽지 않으므로 최소자승법에 의해 원시곡선의 곡률분포점들을 부드럽게 지나가는 곡선을 초기 목적곡률분포곡선을 먼저 생성한다. 최소자승법에 의한 곡선생성은 가지고 있는 점의 개수보다 적은 조절점 수를 정하여 피팅함으로써 얻을 수 있다.

최소자승법에 의한 곡선생성과정은 다음과 같다.

1) 절점벡터는 조절점의 개수에 따라 균일하게

결정한다.

2) 현길이 근사에 의해 파라메터 t_j를 정한다.

3) 조절점을 선형연립방정식에 의해 구한다.

얻어진 초기 곡률분포 곡선을 점이동(move) 등의 CAD 기능을 이용 적절히 수정하여 원하는 목적곡률분포곡선을 구한다.

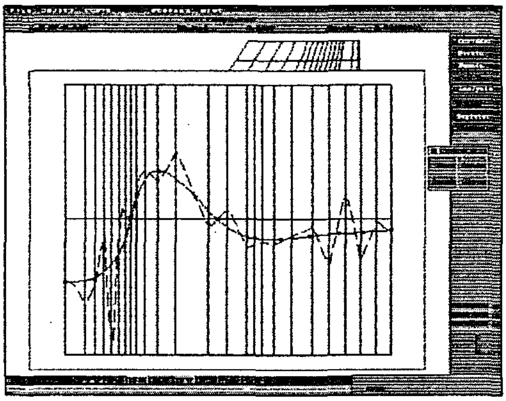

Fig. 4 Curve fairing by direct manipulating curvature curve(Object curvature distribution)

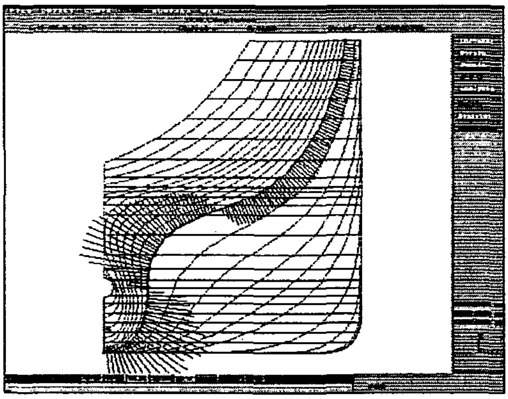

Fig. 5 Curve fairing by direct manipulating curvature curve(Final curvature distribution)

4. 적용 및 고찰

수정된 직접곡률조작법을 이용하여 곡선을 순정하는 과정을 요약하면 다음과 같다.

1) 대상곡선의 곡률분포를 충분한 수만큼 계산하여 점 데이터로 사용한다.

2) 계산된 데이터들을 부드럽게 지나가는 곡선을 최소자승법에 의해 구하고, 적절한 수정을 통하여 목적곡률분포 곡선으로 정한다.

3) 최적화 기법을 이용하여 목적곡률을 만족하면서 원시곡선에서의 이동량이 최소가 되는 곡선을 찾는다.

여기서 최적화기법으로는 순차이차계획법을 이용하였다. 순차이차계획법(SQP)은 Lagrange 함수의 Hesse 행렬을 1계 미분에 의해 근사하는 유사뉴톤법(Quasi-Newton Method)에 근거를 둔 최적화 방법으로 기타 방법에 비해 빠른 수렴율을 보인.[12~14]

Fig. 3에 순정상태가 불량한 곡선의 초기곡률분포를 보이고 있다. Fig. 4에는 점선으로 표시된 원시 곡률 분포 곡선과 실선으로 표시된 목적곡률분포 곡선을 보이고 있다. 목적곡률분포 곡선은 원시곡률분포의 곡선을 피팅하고 적절한 수정을 거친 결과이다. Fig. 5에는 앞에서 정한 목적곡률분포를 가지는 곡선을 찾아 개선된 곡률분포를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 Lu의 직접 곡률조작법을 기반으로 목적함수와 제한조건을 선체 곡선에 맞게 재설정하여 선체 곡선의 순정에 적용한 결과 만족할만한 순정도를 얻었다. 이를 이용하면 자동순정의 가능성도 생각할 수 있다. 즉, 선형 곡선의 특징(예를 들면, 형상에 따라 변곡점의 개수가 예측될 수 있다는 점등)을 고려하면 곡선의 종류(Station line, Water line, Buttock line) 별로 곡률 곡선의 대표적인 형상을 결정할 수 있을 것이다. 이러한 형상에 적합한 함수의 형태를 찾을 수 있다면 곡률 곡선이 자동으로 피팅될 수 있어 진정한 자동순정이 가능할 것이다. 물론 앞에서 언급한 것과 같이 원하는 곡률 곡선이 원시 곡선과 너무 차이가 나면 해를 찾지 못하므로 어느 정도 순정이 된 뒤 미세한 조정이 필요한 경우, 이러한 자동 순정의 과정을 적용하여야 할 것이다. 이러한 과정을 거친 선형은 생산용 선도로도 손색이 없으리라 생각한다.

참고문헌

1) Kjellander, J., "Smoothing of Cubic Parametric Splines", Computer Aided Design, 15(3): 175-179, 1983
2) Kjellander, J. and Bjorkenstan, U. C., "Cubic Curve Fitting Using Variable Segment Stiffness for Computer Aided Design", Computers in Mechanical Engineering, pp.61-66, Nov. 1983
3) Farin, G., "Smooth Interpolation to Scattered 3D Data", In Surfaces in CAGD, Barnhill and Boehm (eds.), North-Holland Pub. Co., The Netherlands, 1983
4) Farin, G., Rein, G., Sapidis, N. and Worsey, A. J., "Fairing Cubic B-Spline Curves", Computer Aided Geometric Design", 4(2): 91-103, 1987
5) 신현경, 신상성, 박규원, "선체형상 정의를 위한 버텍스 산출 알고리즘 개발에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제31권, 3호, 1994년 8월
6) 김동준, 윤태경, "선형의 순정 기법에 관한 기초 연구", 대한조선학회논문집, 제31권, 2호, 1994년 5월
7) 박지선, 김동준, "GC1 곡면을 이용한 선형의 표현", 대한조선학회논문집, 제31권, 4호, 1994년 11월
8) 김동준, "선형 순정의 전산화에 대한 연구", 삼성중공업 연구과제 최종보고서, 1994
9) 정수원, 김동준, "선박 수선의 순정에 관한 연구", 한국어업기술학회지, 제32권, 1호, 1996년 2월
10) 김원돈, 남종호, 김광욱, "선형의 기하학적 모델링을 위한 직접순정법에 관한 연구", 대한조선학회지, 제28권, 제1호, 1991
11) Lu, Y., "Direct Manipulation of Curve and Surface Properties Using a Piecewise Polynomial Basis Function", Ph. D. Dissertation, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1995
12) Vanderplaats, G.N., "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications", McGraw-Hill, 1984
13) Singiresu S. Rao, "Engineering Optimization Theory and Practice", 3rd Edition, Wiley Interscience, 1996
14) 류연선, 임오강, 박경진, "최적설계입문", 반도출판사, 1994