

B-Spline을 이용한 어선의 선수미부 초기 선형 설계

김 동 준 · 홍 봉 기

부산수산대학교

(1991년 2월 1일 접수)

Computer Aided Design of the Fore and After Body of Fishing Vessel by Using B-Spline

Dong-Joon KIM and Bong-Ki HONG

National Fisheries University of Pusan

(Received February 1, 1991)

The present paper describes a preliminary design method by using the computer graphics for creation of the fore and after body profiles of fishing vessel. It is well known that the Form Parameter design method has some merits at an early stage of design, and the B-spline curve generation technique has some prior properties in representing hull form with the computer graphics. The B-spline curve generation technique combined with the form parameter design method is employed to generate the profiles of fishing vessel. For fore body the stem profiles with bulbous bulb or without one are considered. And for after body the stern profiles of cruiser type and the transom type are generated with stern bulb or with shoe piece. Several examples will be shown.

서 론

선박의 초기 설계 단계에서 적절한 초기 선형은 갑판 면적 및 용적의 검토, 복원력 및 운동성능의 평가, 일반 배치의 검토를 위해 반드시 필요하므로 가장 먼저 얻어져야 한다. 또한 초기 선형은 설계가 진행됨에 따라 계속 수정되면서 최종 선형으로 확정되는 과정을 따르므로 변형된 선형을 반복해서 빠른 시간에 생성시킬 수 있는 방법이 필요하다. 아울러 선형의 생성 과정에는 여러가지 계산이 병행되어야 하는 특징을 가지고 있다. 즉 선형 설계에는 수치 계산을 병행하면서 빠른 시간내에 반복해서 선형을 생성시킬 수 있는 방법이 필요하게 된다. 이러한 작업에는 전산기를 이용하는 것이 가장 바람직하다.

전산기를 선형 설계에 이용하기 위해서는 우선 선형을 수학적 방법으로 표현하는 것이 필요하게 된다. 따라서 일찍부터 선체의 형상을 수학적으로 표현하고자 하는 노력이 시도되었으며 Taylor¹⁾가 일관된

선형의 변환을 얻기 위해 선체를 다항식으로 표현함으로써 이에 대한 연구가 시작되었다. 그 후 전산기의 발전과 더불어 여러사람들이 cubic spline, parabolic blending, bezier curve, B-spline 방법들을 사용하여 선형을 표현하고자 노력하였다. 이러한 연구들 중에서 Gordon & Riesenfeld²⁾는 Schoenberg³⁾의 B-spline 이론을 이용하여 임의의 형상의 수학적 표현에 매우 효과적인 B-spline 곡선을 개발하였는데 이 방법은 연속성이 충분히 보장되고, 국부적으로 변형이 가능하며, 불연속점의 정의 및 직선의 표현이 가능하여 선형의 표현에 아주 적합하다는 것이 밝혀졌다.

한편 선형에 대한 구체적인 사상이 확정되지 않은 초기 설계 단계에서는 선체 형상의 특성을 나타내는 형상계수(form parameter)를 이용하여 원하는 선형을 생성하는 방법이 초기 선형 설계에서 가장 합리적이다. 이는 형상계수의 비교에 따라 선형의 물리적 특성 비교가 용이하고, 또한 형상계수의 값의 변화로 선형 변화가 가능하기 때문이다. 따라서 초기 선형

설계에 전산기를 이용하기 위해서는 적절한 형상계수를 주면 이를 만족시키는 곡선을 앞의 여러가지 수학적 방법으로 생성시키는 과정이 필요하게 된다.

이에 따라 형상계수 방법과 곡선의 수학적 표현 방법의 결합에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔는데⁴⁾ 다항식을 이용한 곡선과 결합한 경우는 필요한 형상계수가 증가할 때 다항식 차수의 증가로 인하여 곡선이 진동할 위험이 따르게 되며 그 외의 곡선들과 결합하면 국부적인 수정이 불가능하게 되는 등의 단점이 존재하게 된다. 그러나 B-spline 곡선을 형상계수 방법과 연결시키면 종래의 다른 곡선과 연결된 형상계수 방법에 의한 선형설계에서 나타나는 여러가지 단점을 극복할 수 있게 된다. 이에 대한 연구는 여러 사람에게 의해 시도되었으며 좋은 결과를 보이고 있다. Creutz⁶⁾는 order 4, 정점(vertex point)수 7의 B-spline 곡선과 끝점에서의 좌표, 접선각, 곡률, 면적 및 도심등의 형상계수를 결합하여 선형설계에 적용하여 만족할만한 결과를 얻은바 있으며 강, 김⁷⁾은 B-spline과 형상계수 방법을 결합할 때 곡선이 퇴화하지 않을 형상계수 값의 허용범위를 밝힌 바 있다.

그러나 이들의 연구는 초기 선형에 가장 중요한 중앙단면도의 생성에 집중되고 있으며 이를 얻는 과정에 필요한 기본 곡선에 대해서는 깊이 다루어지지 못하였다. 이들 기본 곡선중 선수미부의 형상은 조파저항 및 추진 등 유체 동력학적 성능에 큰 영향을 미치므로 중앙단면도의 생성과 함께 다루어 지는 것이 바람직하다. 이에 본 논문에서는 B-spline 곡선과 형상계수방법을 결합하여 어선의 선수미부의 초기 선형을 생성시키는 과정을 밝히고자 한다.

B-spline 곡선

1. B-spline 곡선 및 B-spline basis 함수

B-spline basis를 이용한 곡선식은

$$P(t) = \sum_{i=0}^{n-1} B_i N_{i,k}(t) \quad (2.1)$$

여기서

$P(t)$: 매개변수 t 의 함수로 곡선 위의 위치 벡터

B_i : 주어진 정점(vertex)들의 위치 벡터

$N_{i,k}$: B-spline basis 함수

n : 정점의 개수

k : 곡선의 order

로 표현된다. Order k 인 B-spline basis 함수는 절점(knot)에서 order $(k-2)$ 까지 연속성을 지니는 $(k-1)$ 차(degree)의 부분 다항식으로 정의되며 Cox⁸⁾, de Boor⁹⁾에 의해 다음과 같은 순환식이 제안되어 있다.

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1, & X_i \leq t \leq X_{i+1} \quad X_i : \text{knot 벡터} \\ 0, & t < X_i, X_{i+1} < t \end{cases} \quad (2.2)$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-X_i)N_{i,k-1}(t)}{X_{i+k-1}-X_i} + \frac{(X_{i+k}-t)N_{i+1,k-1}(t)}{X_{i+k}-X_{i+1}}$$

2. B-spline 곡선의 예

B-spline 곡선은 다음과 같은 여러가지의 방법에 의해 형상을 변화시킬 수 있는 성질을 가지고 있다.

1) order k 의 변화

2) 정점의 중복

3) 정점의 위치 및 개수

먼저 다음의 4개의 정점을 가지고 있는 경우에 order k 의 변화에 따른 곡선의 변화를 Fig. 1에 표시하고 있다.

$$(0., 0.) (3., 9.) (6., 3.) (9., 6.)$$

결과를 보면 2nd order의 경우는 4 정점 사이를 잇는 직선으로 나타나며 4th order일 때는 order의 수와 정점의 수가 같은 경우로 bezier curve가 된다. 3rd order의 경우는 좀 더 느슨한 곡선을 보인다. 또한 세가지 경우 모두가 첫번째 정점과 마지막 정점에 접하는 것을 보여주고 있으며 order가 올라갈수록 정점으로 연결된 직선의 형상과는 멀어지며 tight해지는 경향을 알 수 있다. 여기서 bezier curve가 B-spline 곡선의 한 경우이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 2에는 정점이 중복될 경우 곡선이 형상에 미치는 변화를 보이고 있다. 정점을 다음과 같이 정의하면

$$(0., 0.) (2., 5.) (4., 8.) (6., 3.) (6., 3.) (8., 6.) (10., 7.)$$

4번째와 5번째 정점이 중복된 정점이다. 여기서 앞의 경우와 같이 order를 증가시켜 가면서 곡선의 변

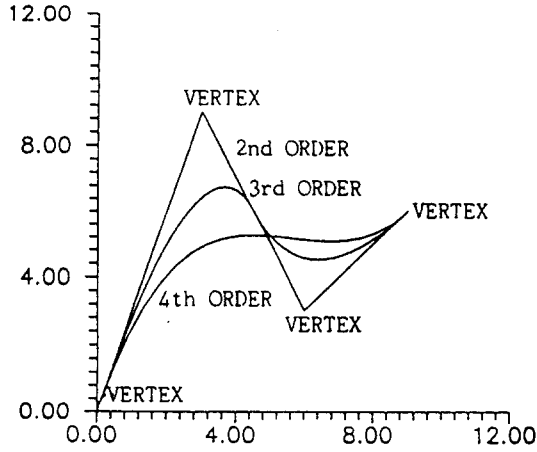


Fig. 1. B-spline curves.

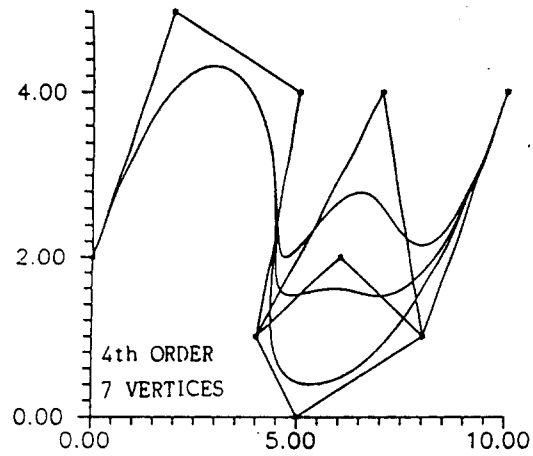


Fig. 3. Local control of B-spline curves.

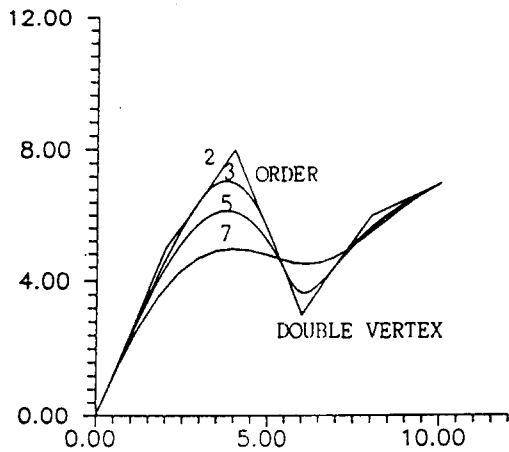


Fig. 2. Multiple vertex B-spline curves.

화를 살펴보면 여러가지 사실을 알 수 있다. 3rd order의 경우 중복된 정점에서 기울기와 곡률이 불연속인 너클(knuckle)이 발생한다. 즉 두번 중복된 정점은 3rd order까지 너클이 되고, 이와 마찬가지로 3중 정점은 4th order까지 너클이 된다는 것을 미루어 알 수 있다. 이러한 성질, 즉 기울기나 곡률이 불연속인 너클을 포함하면서도 하나의 표현식으로 전구간을 표현할 수 있다는 것이 선박의 선형 설계에 아주 유용하게 사용된다.

Fig. 3에는 다른 부분에 영향을 주지않고 국부적으로 형상을 변화시킬 수 있는 성질을 보여주고 있다. 이러한 예는 Rogers¹⁰⁾에 자세히 나타나 있다.

3. B-spline 곡선의 특징

다른 여러가지의 spline 곡선들에 비해 B-spline 곡선은 다음과 같은 특징을 갖는다.

1. 연속성

앞에서 정의한 바와 같이 B-spline 곡선은 $(k-1)$ 차의 부분 다항식으로 정의 되므로 $(k-2)$ order의 연속성을 가지고 있다.

2. 국부적 변형 가능

Cubic spline, bezier 곡선등은 한 점의 변화가 전 구간에 걸쳐 영향이 나타나나, B-spline 곡선은 각 정점이 고유의 basis함수에 연관되므로 한 정점을 변화시킬 경우 k 개의 곡선 구간에서만 영향을 미친다. 따라서 형상의 국부적 제어가 가능하다.

3. 절점(knot)에서 너클 표현 가능

절점에서 너클을 표현하고자할 때는 다중정점을 이용하여 표현할 수 있다.

4. 직선과 접선 표현이 가능

k 개의 동일선상의 정점들에 의해 직선의 표현이 가능하며 $(k-1)$ 개의 동일선상의 정점들로는 접선을 만들 수 있다.

5. Convex hull의 성질

Order k 인 B-spline의 각 부분 곡선은 k 개의 정점으로 결합된 convex hull 내부에 존재한다.

6. 매개 변수 사용

매개 변수를 사용함으로써 다중함수의 표현 등 매개 방정식의 장점을 이용한다.

7. Order k 와 정점수 n 이 서로 독립적으로 여러 가지의 조합이 가능하고 따라서 원하는 형상을 도출하는 데 아주 유용하다.

B-spline과 형상계수를 이용한 선수미부 생성

B-spline 곡선을 이용하여 적절한 정점의 입력으로 원하는 형상을 얻을 수 있다는 점을 생각할 때 이를 선박의 선형 설계에 적용할 수 있다면 선형 설계의 전산화를 이룰 수 있다. 그러나 B-spline에 익숙하지 못한 현장의 설계자가 원하는 선형을 얻을 수 있는 적절한 정점을 입력한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 일반적으로 현장에서 초기 선형을 얻을 때는 앞에서 언급한 바와 같이 형상계수를 이용하여 설계를 한다. 따라서 B-spline에 익숙하지 못한 선형 설계자가 전산화를 이용하여 설계를 할 수 있도록 하기 위해서는 적절한 형상계수를 입력하면 바로 원하는 형상을 얻도록 B-spline과 형상계수에 의한 설계법을 결합시켜야만 한다. 본 논문에서는 먼저 어선의 선수미부의 형상을 특별별로 구별하여 각 경우의 형상계수를 선정하여 이를 설계자가 입력하면 프로그램내에서 정점을 찾도록 하였다.

Fig. 4에 입력을 위한 무차원화된 전체 좌표계가 표시되어 있다.

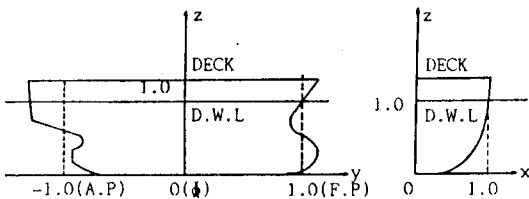


Fig. 4. Nondimensional coordinate systems.

1. 선수부의 형상 생성

1) 구상 벌브(bulbous bulb)가 없는 형상

일반적인 어선의 경우 구상 벌브를 가지지 않은 선형이 대부분이며 선수부를 약간 전방으로 경사시킨 것이 많으나 어업의 종류에 따라 선수를 길게 전방으로 연장시킨 clipper형을 한 것도 있다. 본 연구에서는 전방으로 연장시킨 부분은 초기 설계시 크게 중요하지 않으므로 clipper형은 고려하지 않았다. 형상 생성에 사용된 형상계수는 Fig. 5에 표시된 바와 같으

며 이를 이용하여 6개의 정점을 생성시킨다. 주요한 형상계수로는 다음과 같다.

F. P와 교점 및 기울기

선수부가 시작되는 점

갑판과의 교점의 좌표 및 기울기

예로서 얻어진 결과를 Fig. 6에 보이고 있다.

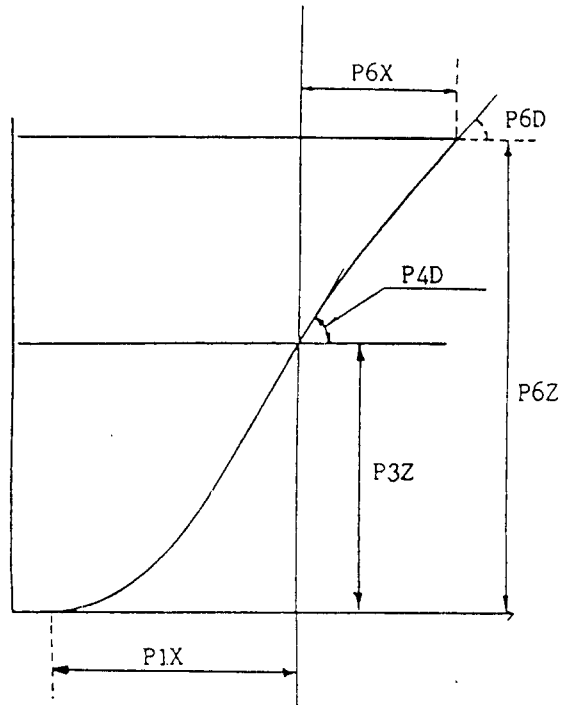


Fig. 5. Form parameters for stem without bulb.

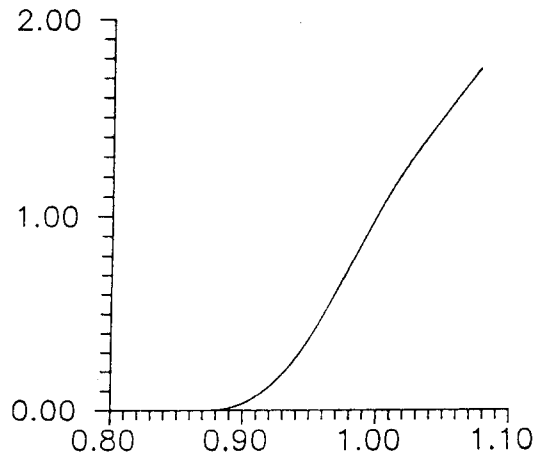


Fig. 6. Sample output for stem without bulb.

2) 구상 벌브 형상

조파 저항의 감소를 목적으로 사용하기 시작한 구상선수이지만 유체의 흐름을 변화시켜 점성저항에도 영향을 준다는 사실이 밝혀짐에 따라 근래에는 저속비대선에도 부착되고 있으며 새로 건조되는 어선의 경우에도 많이 사용되고 있다. 형상 생성에 사용된 형상계수는 Fig. 7에 표시된 바와 같으며 이를 이용하여 14개의 정점을 생성시킨다.

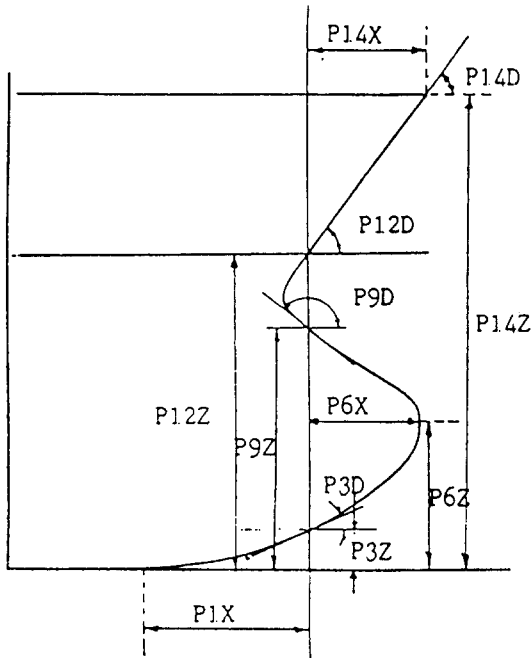


Fig. 7. Form parameters for stem with bulb.

주요한 형상계수로는 다음과 같다.

구상 선수 최대치의 좌표

F, P와의 교점 및 기울기

선수부가 시작되는 점

갑판과의 교점의 좌표 및 기울기

그외의 입력으로는 곡선부의 볼록한 정도를 표현해주는 계수로 0과 1사이의 값으로 1에 가까울수록 볼록해진다. 구상선수 아래부분을 제어하는 SC4, SC5, 구상선수 윗부분을 제어하는 SC7, SC8, 구상선수 윗부분과 F, P가 만나는 점 이상 부분을 제어하기 위한 SC10 등이 있다. 여기서 SC10은 10번 및 11번째의 정점을 동시에 제어하는 것으로 0보다 큰 값을 가지면 F, P 뒷 쪽으로 들어간 선형(Fig. 8 참조)이 생성되며 0의 값을 가지면 직선으로 처리된 선형(Fig. 9

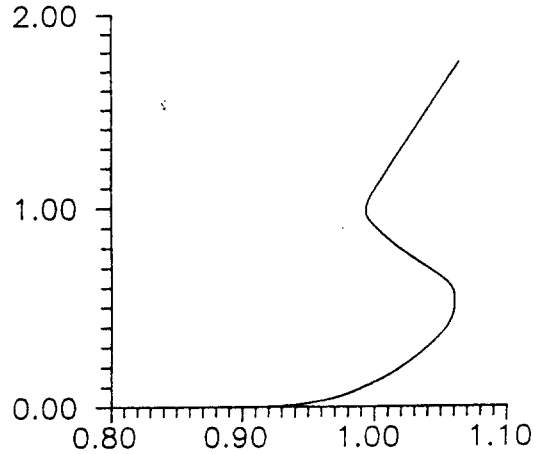


Fig. 8. Sample output(1) for stem with bulb.

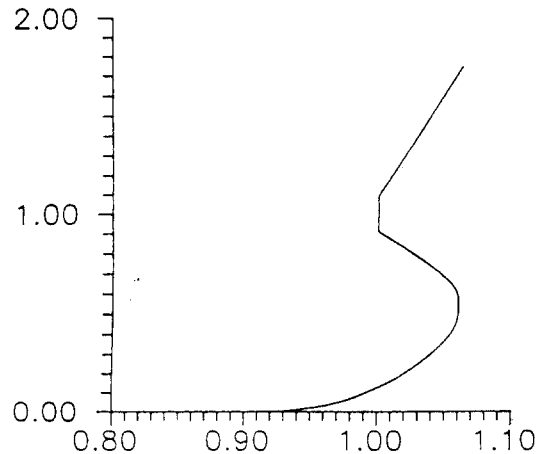


Fig. 9. Sample output(2) for stem with bulb.

참조)이 생성된다.

2. 선미부 형상의 생성

1) Shoe piece를 가진 선미부

어선의 선미는 대개 shoe piece를 가지고 있다. 최근의 대형선의 경우 추진 효율등을 생각하여 선미 벌브를 가진 선미를 많이 채택하고 있으나 어선의 경우 여러가지 이유로 shoe piece를 가진 선미를 채택한다. 본 논문에는 선수부의 clipper와 같이 shoe piece를 제외한 선미부를 생성하고자 하였다. 이는 shoe piece를 선미부가 완성된 뒤 부착하여도 선미부의 형상에 영향을 미치지 않기 때문이다. 형상 생성에 사용된 형상계수는 Fig. 10에 표시된 바와 같으며 이는 15개의 정점을 생성시킨다.

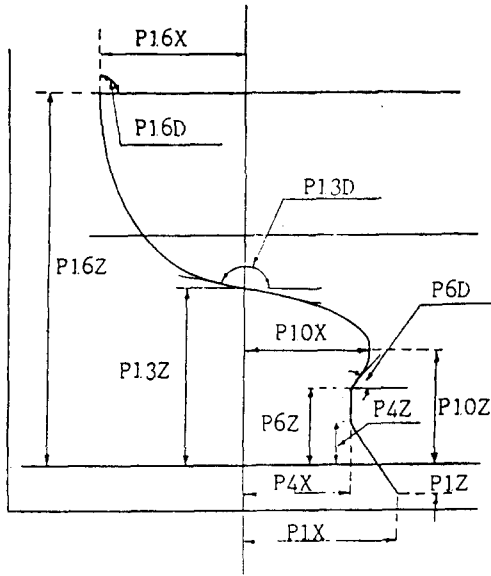


Fig. 10. Form parameters for stem with shoe piece.

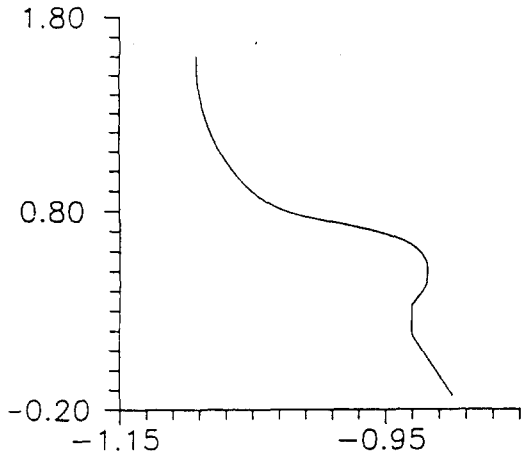


Fig. 11. Form parameters for stem with shoe piece.

주요한 형상계수로는 다음과 같다.

A, P와의 교점 및 기울기

Shoe piece가 시작되는 점

추진기의 축 중심과 boss의 직경

감판과의 교점의 좌표 및 기울기

추진기 축 이상 A, P이하의 부분의 곡선부중 가장 선수쪽으로 들어간 부분의 좌표

그외의 입력으로 선수부에서와 같이 곡선부의 불룩한 정도를 표현하는 계수가 있다. 이는 순양함형 선미의 불룩한 정도를 표시하기 위하여 입력된다.

입력 예로 생성한 선미부를 Fig. 11에 보이고 있다.

2) Shoe piece가 없는 선미부

A, P와의 교점 상부의 형상은 shoe piece의 존재 유무에 무관하므로 앞의 결과와 다를 바가 없다. 그러나 shoe piece가 없으면 추진기에 유입되는 유체의 흐름을 균일하게 하기 위하여 선미 벌브를 채택하므로 이부분은 상당히 복잡한 형상을 가지게된다. 따라서 필요한 형상계수의 숫자도 늘어나게된다.

형상생성에 사용된 형상계수는 Fig 12에 표시된 바와 같으며 이는 16개의 정점을 생성시킨다.

주요한 형상계수는 다음과 같다.

A, P와의 교점 및 기울기

선미부가 시작되는 점

추진기의 축 중심과 boss의 직경

Boss 직경 양 끝부분의 각각의 기울기

추진기 축 이상 A, P이하의 부분의 곡선부중 가장 선수쪽으로 들어간 부분의 좌표

그외의 입력으로 추진기 축 이하부분의 불룩한 정도를 표시하는 SC2, SC3, 축 이상 A, P이하부분의 불룩한 정도를 표시하는 SC7, SC8, SC11, SC12 등의 계수가 있다. 입력 예로 생성한 선미부를 Fig. 13에 보이고 있다.

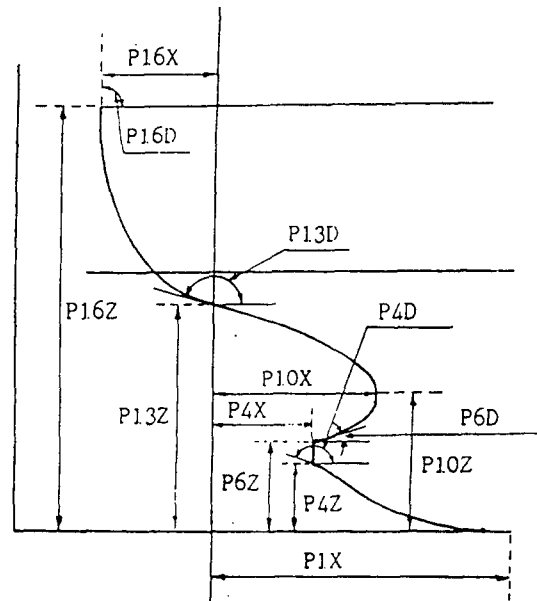


Fig. 12. Form parameters for stem with bulb.

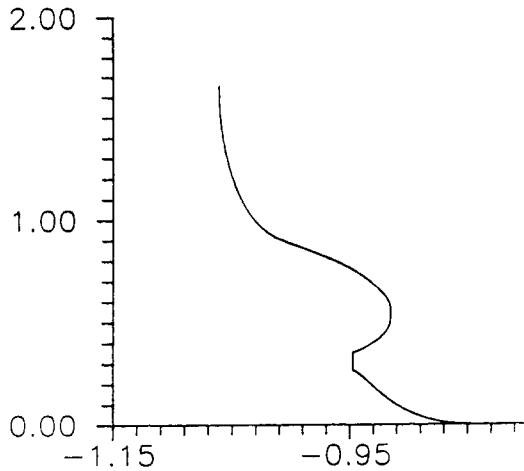


Fig. 13. Sample output for stem with bulb.

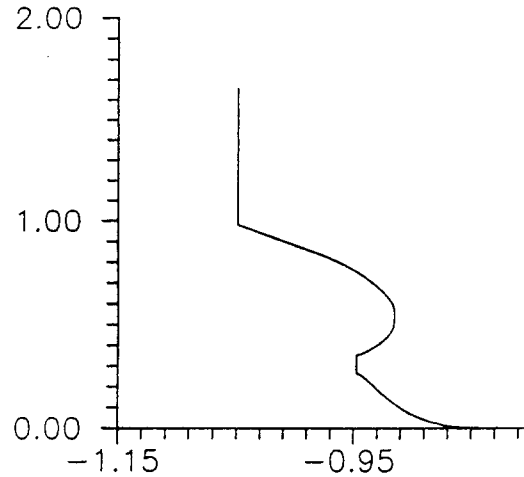


Fig. 14. Sample output for transom stern.

3) Transom 선미부

대개의 어선은 선미부의 작업 면적을 확보하기 위하여 순양함형 선미부를 가지나 transom선미는 생산 작업성이 뛰어나기 때문에 종종 채택되고 있다. A, P 이하의 부분은 앞의 2가지 경우와 같으므로 경우별로 입력하면 된다. 그 이상의 경우는 transom이 시작되는 부분의 좌표와 기울기가 형상계수로 불록한 정도를 표시하는 계수를 대신해 입력된다. 입력 예를 이용해 생성한 선미부를 Fig. 14에 보이고 있다.

결 론

본 연구의 결과로서 어선의 초기 설계용 선수미부 형상을 전산기를 이용하여 생성시키는 기법으로 B-spline 곡선과 형상계수를 결합한 방법이 유용하다는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의 정면도 생성 기법과 결합하면 초기 설계용 선도를 얻을 수 있으며, 이는 조파저항, 선수부의 slamming 현상에 의한 충격력 등의 유체동력학적 계산을 가능하게 하여 최종적으로는 최적 선형을 얻는 기본적인 도구가 될 것이다. 그러나 본 연구는 일괄 작업 형태의 사용이 가능하도록 처리된 것으로 전산기에 익숙하지 않은 설계자가 사용하기에는 약간의 어려움이 있을 것으로 생각되며, 이는 mouse를 이용한 대화식 입력 방식으로 해결해야 하므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 또한 선형 설계의 최종 목표는 부드러운 곡면이므로 앞으로의 연구는, 현장의 설계자가 사용하기에는 약간의 어려움이 있지만, 최근 자동차나 비행체의 설계에

많이 사용되고 있는 전산기에 의한 곡면 생성 기법을 선박의 선형 설계에 적용하는 것이라 생각된다. 앞으로 CAD/CAM, computer graphics 등의 관련 기술을 토대로 본 연구의 결과를 확장시키기 위한 많은 노력이 계속되어야 할 것으로 믿는다.

요 약

어선의 초기 설계 단계에서 필요한 초기선형의 선수미부 생성을 위하여 B-spline 곡선과 형상계수를 결합한 방법을 적용하였다. 선수미부의 각부분에 대하여 선형별로 형상계수를 선정한 뒤 이를 이용하여 B-spline 곡선의 정점을 구하도록 하였다.

선수부분의 경우 bulbous bow를 가지는 경우와 그렇지 않은 것으로 크게 분류한 뒤 bulbous bow를 가지는 경우는 수선면 근처의 형상에 따라 2가지로 분류하였다. 수선면보다 뒷부분에 대해서는 bulbous bow와는 무관하므로 이의 유무에 상관없이 직선으로 갑판까지 가는 경우와 곡선을 가지는 경우로 분류하여 다루었다. 선미부분의 경우는 수선면 앞부분은 transom stern과 cruiser stern으로 분류하였으며 수선면이후의 부분은 선미 bulb를 가진 선형과 shoe piece를 가진 선형으로 분류하여 다루었다.

형상계수는 각 경우에 따라 반드시 지켜야 할 점의 좌표와 기울기 등이 우선 선정되었으며 곡선부의 불록한 정도를 조절해 주는 계수들이 선정되었다.

형상계수를 이용하여 곡선을 생성시킬 기법으로는 다항식, cubic spline, parabolic blending, bezier

curve, non-algebraic function 등이 있으나 연속성이 충분히 보장되고, 국부적으로 변형이 가능하며, 불연속점의 정의 및 직선의 표현이 가능한 B-spline을 선택하였다.

참고문헌

- 1) Taylor, D.W.(1915): Calculations for ship's forms and the light thrown by model experiments upon resistance, propulsion and rolling of ships. Trans. Int. Eng. Congress, San Fransisco.
- 2) Grodon, W.I. and R.F. Riesenfeld(1974) : B-spline curves and surfaces. Computer aided design, Academic Press.
- 3) Schoenberg, I.J. (1946): Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions. Appl. Math. Vol. 4.
- 4) FORAN System, ICCAS 1973, Tokyo.
- 5) Durand, L. M., Meinhold, C. Younger and M. Parsons(1984) : Computer - Aided Hull Definition Program(CAHDP)-User's Manual. Univ. of Michigan NAME report 281.
- 6) Creutz, G. (1977): Curve and surface design from form parameters by means of B-spline(in German). Doctoral Thesis, University of Berlin.
- 7) 강사원, 김수영(1990) : B - spline Form Parameter 방법에 의한 선형 생성. 대한조선학회 1990년 추계학술발표회.
- 8) Cox, M.G. (1971): The numerical evaluation of B-spline. National Physical Laboratory DNAC 4.
- 9) Carl de Boor(1972): On calculating with B-splines. J. Approx. Theory, Vol. 6, 50-62.
- 10) Rogers, D.F. (1977): B-spline curves and surfaces for ship hull definition. SCAHD'77, Annapolis, 79-96.