

3차 복합 스플라인을 이용한 선형의 리모델링 및 설계 파라미터 계산

손혜종*, 김현철**

Remodeling of Hull Form and Calculation of Design Parameters using Cubic Composite Spline

Son, Hye-Jong* and Kim, Hyun-Cheol**

ABSTRACT

This paper deals with a method calculating various hull form parameters which are required in numerical analysis for ship performance such as motion, maneuverability, resistance and propulsion, etc. After the hull form is designed, before the model tests the ship's performances are evaluated by various analysis tools in which the hull form parameters are used with many kinds of forms aside from offset data. Here, The hull form parameters characterize the properties of hull form and contain positional, differential and integral information implicitly. Generally, the commercial CAD-system has not functions enough for supporting these form parameters and therefore each shipyard uses its own in-house analysis program as well as commercial analysis software. To overcome these limitations, modules for supporting these analysis programs have developed. The modules contain cubic composite spline curve using local curve fairing, intersect algorithm, Gaussian integral, and other geometric techniques needed in calculating hull form parameters. Using our analysis-supporting modules, a complex hull form can be remodeled exactly to the hull form designed by CAD-system and any hull form parameter required in various performance analyses can be calculated.

Key words : Form parameter, cubic composite spline curve

1. 서 론

현재 조선소 및 관련 연구소에서 사용되고 있는 선형설계시스템은 TRIBON, HCAD, EzHULL, FRIENDSHIP System 등이 있으며, 이들은 고유의 선형 정의 방법에 따라 설계자의 설계경험을 반영하여 수정 보완되어 오늘날 각 설계단계의 특성에 적합한 설계 CAD 시스템으로 자리잡았다^[1]. 선형설계는 모든 설계과정의 선행작업으로, 선박의 제 성능들 - 즉, 저항성능, 추진성능, 운동성능, 조종성능 등 - 과 밀접한 관련이 있다. 최근에는 컴퓨터의 발달로 선형의 기하학적 정보들을 이용하여 이들 제 성능들을 수치적으로 해석하고 모형시험 이전에 다양한 설계조건

에 부합하는 최적의 선형 설계안을 검토하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 이들 성능계산 프로그램들은 선형설계 시스템과는 별도로 범용 소프트웨어 개발 업체에서 공급되거나 각 조선소에서 자체 코드로 만들어지므로, 시스템간에 데이터의 호환성 및 확장성이 없는 경우가 많아서 사용자의 기호에 맞추기가 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 선형설계 시스템에서 전처리 과정을 수작업으로 수행해 왔는데 많은 시간이 필요할 뿐 아니라 계산상의 오차를 필연적으로 수반하게 된다. 현업에서는 특정 계산코드를 위해서 선형설계시스템 내의 매크로기능을 사용하거나 전처리 과정을 전산화하여 작업시간을 줄이고 있지만 계산코드의 다양한 선형계수 요구와 계산 정확도를 만족시키기는 어렵다.

이러한 배경으로 본 논문에서는 기하학적 선형으로부터 수치적 성능계산에 필요한 정보를 일괄하게 처리할 수 있도록 선형 파라미터들을 계산하는 모듈을 개발하게 되었다. 그 내용은 SSMB(Samsung Ship

*비회원, 삼성중공업 조선해양연구소
**정회원, 삼성중공업 조선해양연구소
- 논문투고일: 2008. 07. 07
- 논문수정일: 2008. 10. 22
- 심사완료일: 2008. 10. 23

Model Basin)에서 사용하는 선형설계 시스템 TID (TRIBON4 Initial Design)을 기반으로 하며, 다음 2가지로 분류하였다.

첫 번째는 선형 모델링 과정으로, TID는 B-spline곡선을 기반으로 하는 상업용 2D선형 CAD 시스템이므로 자체 선형 데이터 저장 방식을 가진다. 따라서 본 논문에서는 TID에 의해 설계된 선형의 오프셋(offsets)으로부터 2D선형을 정확하게 리모델링할 수 있도록 3차 스플라인(cubic spline) 곡선¹⁾과 국부 곡선순정(local curve fairing)을 이용한 3차 복합 스플라인 곡선 표현 방법을 이용하여 모델화하였다. 여기서 오프셋은 선형을 표현하는 점의 집합을 의미한다.

두 번째로는 선형 파라미터 계산 과정으로, 위치형, 미분형, 그리고 식분형 파라미터들을 계산하는 모듈들을 포함하고 있으며, 교차 알고리즘과 가우스 구적법(Gaussian quadrature) 등을 사용했다.

본 논문에서는 구현된 성능해석 지원용 모듈러의 내부 구성 및 구조를 설명하고, 유체정역학적 선형 파라미터계산과 유동성능 해석을 위한 선형석자 생성에 적용하여 그 실용성을 검토하였다.

2. 수학적 표현 및 계산 방법

2.1 선형설계시스템

선형설계용 CAD 시스템 TID는 정면도, 평면도 그리고 측면도를 교차하여 그 순정도(fairness)를 검토함으로써 원하는 선형을 생성한다. 이러한 선형설계방법은 기존의 도면으로 작도(drawing)하는 방법을 2D CAD 시스템에서 그대로 구현한 것으로, 최근 3D선형설계 CAD 시스템에서도 이러한 설계 과정을 기본으로 하여 부가적으로 편리한 기능들을 함께 제공하고 있다. TID에서 사용하는 곡선표현방법은 B-spline곡선을 기반으로 하고 있으며, 설계자가 선형의 오프셋을 수정하면

이들 오프셋을 보간하는 B-spline 곡선을 생성한다.

즉, 곡선상의 점들을 설계자가 직접 조정할 수 있으며, 점의 추가 혹은 제거에 따라 그 점을 보간하는 B-spline곡선의 조정점이 자동으로 생성된다. TID 시스템의 특성은 다음과 같다. 첫째, 곡선상의 점들은 일 반적인 점, 점점(point with tangent) 그리고 점점(point with knuckle)과 같은 정보를 함께 가짐으로써 곡선의 1차 연속, 불연속 등을 표현할 수 있다. 둘째, 정의된 곡선은 반드시 하나의 B-spline곡선으로 표현된다. 즉, 다중 노트벡터(knot vector) 삽입, 조정점 간의 각도 조정 등의 기법들이 이용되어 곡선의 시작과 끝을 하나의 B-spline곡선으로 표현한다.

Fig. 1은 TID에서 경계곡선 FOB(Flat of Bottom)과 FOS(Flat of Side)에 대한 B-spline곡선과 조정점의 생성 예를 나타낸다.

한편, 생성된 선형은 다양한 수치적 해석 프로그램에 의해 그 성능이 평가된다. 이때 성능 평가 해석 프로그램들은 그들 고유의 해석에 필요한 다양한 선형 파라미터들이 요구되는데, TID와 같은 상업용 선형설계 CAD 시스템은 이들 선형 파라미터들을 만족스럽게 지원할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 TID에 의해 생성된 선형을 자체 곡선 표현방법으로 리모델링하여 보충화함으로써 요구되는 모든 선형 파라미터들을 계산하고 추가할 수 있도록 하였다.

2.2 국부 곡선순정을 이용한 3차 복합 스플라인 곡선

TID에서 생성된 선형을 가능한 한 정확히 표현하기 위해 본 논문에서는 국부 곡선순정을 이용한 3차 복합 스플라인 곡선(cubic composite spline curve)을 개발하였다. 일반적으로 3차 스플라인 곡선은 주어진 오프셋의 미분형 정보를 이용하여 정의된다.

즉, 주어진 오프셋(위치형 정보)과 함께 시작과 끝점에서의 1차 미분을 이용하여 내부 곡선이 C^2 -연속성

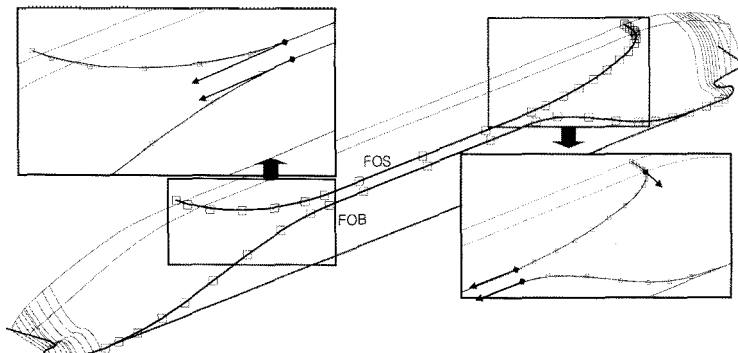


Fig. 1. An example of B-spline curve generation in TID.

을 만족하도록 3차 스플라인 곡선을 생성한다. TID는 모든 곡선을 B-spline으로 표현하며 다음의 2가지 표준 출력형태를 가진다. 첫째는 B-spline 조정점이며, 두 번째는 곡선상의 점(웁셋)과 1차 미분값이다. 여기서 첫 번째 출력형태는 TID에 의해 생성된 선형을 정확하게 리모델링할 수 있는 장점이 있지만, 선형 파라미터 계산을 위해 필요한 곡선 분할, 교차점 계산, 그리고 시스템이 제공하는 절점벡터(knot vector)^[5] 계산 방법 등이 블랙박스(black box)이므로 곡선의 리모델링 및 제어에 한계를 가진다. 즉, 설계 시스템이 제공하는 고유의 표현식 - B-spline, NURBS 등 - 들을 그대로 이용할 경우 선형 모델링은 간단하고 정확하게 구현할 수 있지만, 필요한 설계 파라미터들의 계산을 위해서 다시 재구성하거나 호환성을 위해 후처리 과정(post-processor)을 해야 하는 번거로움이 생길 수 있다.

한편, 두 번째 출력 형태는 모든 선형 시스템에서 쉽게 제공할 수 있지만, 곡률이 심한 부분 등에서는 시스템에서 제공하는 상세한 선형 정보가 손실될 우려가 있다. 본 논문은 이러한 선형 정보 손실을 최소화하면서 선형을 리모델링할 수 있는 방법을 소개하고자 하였다. 이를 위해 국부 곡선순정을 이용한 3차 스플라인 곡선을 이용하여 선형을 리모델링하였다. 3차 스플라인 곡선은 일반적으로 양끝점에서 미분정보를 가지지 않는 경우 즉, 임의 웁셋이 첨점(cusp point)으로 표현되는 경우에는 곡선이 진동할 가능성이 높은 단점이 있다. 이러한 경우 3차 스플라인 곡선을 위한 끝단 조건을 곡률 "0"로 주는 경우나 임의의 "default" 미분값으로 주는 경우로는 해결되지 않는다. 따라서 이를 해결하기 위해 B-spline곡선을 이용한 국부 곡선순정을 3차 스플라인 곡선에 적용하여 C¹-연속성을 만족하도록 양끝점의 1차 미분값을 결정하였다. 그리고 복잡한 선형에 대한 표현 및 유체정역학적계산 및 격자생성을 유연하고 빠르게 하기 위해 집점과 첨점에서 곡선을 분리하여, 이들 곡선간의 연속성(C⁰, C¹, C²)을 만족하도록 곡선을 결합하는 복합 스플라인 곡선을 개발하였다.

TID로부터 국부 곡선순정을 이용한 3차 복합 스플라인 곡선을 생성하는 과정은 다음과 같다.

1단계: TID로부터 생성되는 곡선상의 점(웁셋)과 미분정보를 검토한다.

2단계: 미분정보를 가지고 있는 웁셋을 기준으로 곡선을 분할하여 집점(joint point)이 C¹-연속성을 가지는 부분 3차 스플라인 곡선군(piecewise cubic spline curve group)을 생성한다. 이때 웁셋이 첨점 즉, 미분정보를 가질 수 없는 점들로 정의되어 있으면 4개의 조정점(control point)을 가지는 B-spline곡선으로 정의

하여 최적화 기법을 이용한 곡선순정을 통해 최적 미분값을 결정한다.

예를들면 $P_{n-1}(t_0)$ 은 첨점이고 $P_n(t_1)$ 은 곡선상의 웁셋이라고 하면 첨점 $P_{n-1}(t_0)$ 에서 부분 3차 스플라인 곡선을 생성하기 위한 미분값은 다음과 같이 계산된다. 매개변수 t_1 에서 $P_n(t_1)$ 의 미분을 $P'_n(t_1)$ 라고 하면 $P_{n-1}(t_0)$ 와 $P_n(t_1)$ 구간에서 3차 B-spline곡선 $P(t)$ 와 4개의 조정점(Vertices) V_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$P(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^4 V_i N_{i,4}(t), \quad V_1 = P_{n-1}(t_0) \\ V_4 = P_n(t_1) \\ V_3 = \begin{pmatrix} x_4(t_1) - l \cos \alpha \\ y_4(t_1) - l \sin \alpha \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 α 는 미분값 $P'_n(t_1)$ 에 의해 결정되는 각도를 나타내며, 미지 조정점 V_2 와 접선벡터 길이 l 은 식(2)의 순정기준(fairness criteria)^[11]에 따라 최적화 알고리즘에 의해 결정된다.

$$\text{minimize} \int_{t=0}^{t=1} \left\{ \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2} \right)^2 \right\} dt \quad (2)$$

식(2)는 Westgaard^[6]에 의한 종속적 파라메트릭 곡선의 2차 미분 평활화 기준으로, Harries^[2]와 Kim^[11]이 선형설계에 적용하여 그 실용성이 검토되었다. 식(1)과 식(2)에 의해 조정점 V_i 가 생성되면 첨점 $P_n(t_1)$ 의 미분벡터가 결정되고, 이들 부분 3차 스플라인 곡선 생성에 이용하면 전체적으로 퇴화되지 않은 스플라인 곡선을 형성할 수 있다. Fig. 2는 여객선 선형의 임의 홀수선에서의 곡선표현 방법을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 TID에 의해 설계된 선형 곡선들을 나타낸다. 이때 임의 홀수선은 TID로부터 생성되는 첨점을 포함하여 3차 B-spline 곡선으로 표현되는데(Fig. 2(b)), 조정점과 각 웁셋의 미분값들을 가진다. 첨점을 제외한 나머지 곡선상의 점들은 모두 일반적으로 쉽게 보간될 수 있다. 그러나 첨점에서는 점을 기준으로 서로 다른 방향으로 각각 다른 미분값을 가지므로 일반적으로 TID에서는 미분값을 제공하지 않는다. 따라서 일반적인 3차 스플라인으로 나타낼 경우 부정확하여 진동하는 경향을 보인다. Fig. 3은 첨점에서의 발생하는 곡선진동(Fig. 3(a))을 본 연구에서 제시한 국부 곡선순정을 이용하여 매끄러운 3차 복합 스플라인 곡선(Fig. 3(b))을 생성한 예를 나타낸다. 첨점에서의 곡선진동이 탄성을 가진 곡선으로 바뀌었음을 알 수 있다.

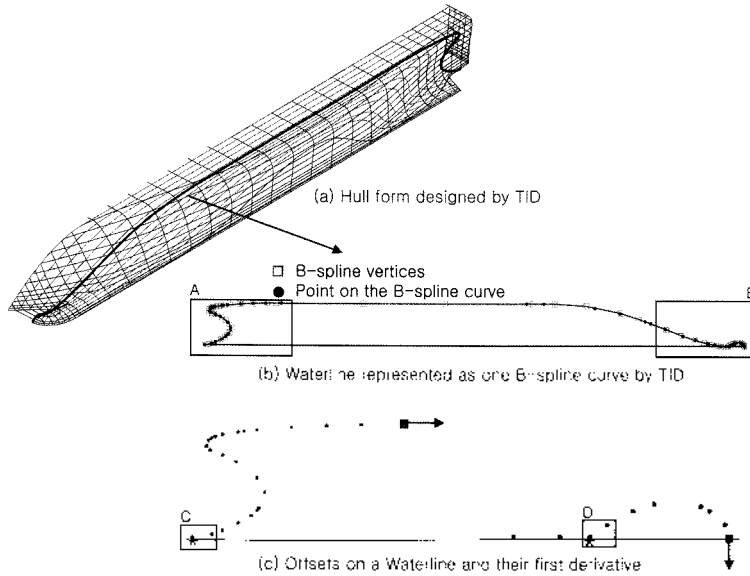


Fig. 2. An example of waterline with cusps.

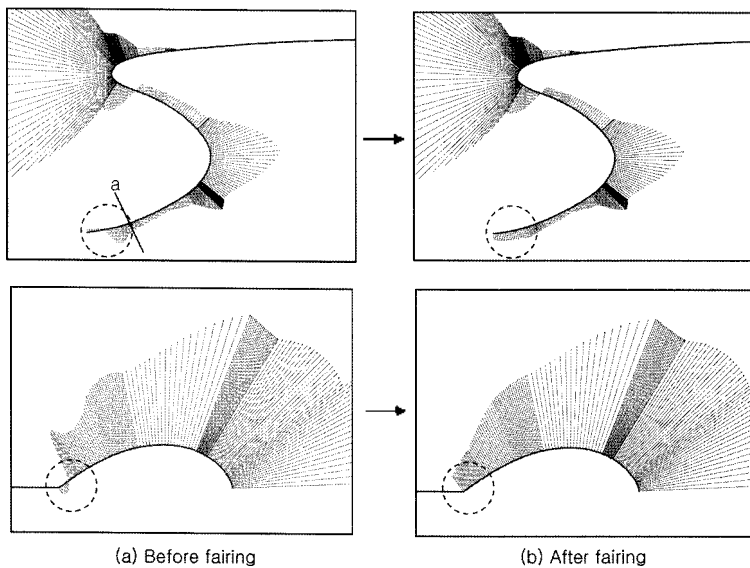


Fig. 3. Examples of cubic composite spline using local curve fairing.

2.3 교차점 계산

선형의 제 성능 해석에 사용되는 선형 파라미터들은 후술하는 면적 계산과 함께 곡선과 3차원 평면간의 교차점 계산에 의해 대부분 정의된다. 교차점을 구하는 방법은 법선 벡터를 이용한 평면과 곡선의 교차점(intersection between a curve and a plane: SPI)을 사용하였다. 일반적으로 선형은 Fig. 4와 같이 임의의 위치(a, b, c, d)에서 다중 교차점을 구하는 경우를 나타내며, 이들 교차에 의해 구해진 점들은 각종

파라미터 계산을 위한 경계점으로 사용될 수 있다.

2.4 면적 계산

Green 정리를 이용하여 면적분은 선적분으로 변환할 수 있으며, 이 선적분은 가우스 구적법(Gaussian quadrature)을 이용하여 수치적으로 계산할 수 있다. 본 모듈에서는 면적계산을 위해 3차 가우스 구적법을 사용했다¹⁶⁾. 가우스 구적법은 어떤 구간의 선적분함수의 적분값을 그 구간 사이의 정해진 위치에 대응

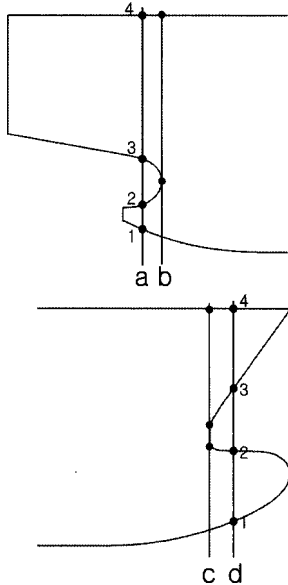


Fig. 4. Examples of intersection in stem and stern profiles.

하는 함수값과 가중치(weight)와의 곱들의 합으로 계산하는 방법으로, 근사식의 차수에 따라 정해진 위치와 가중치의 값이 달라진다. 3차식을 적용하면 -1과 1사이의 파라미터 곡선에서 3점의 위치와 가중치로 근사화된다. 가우스 구적법을 이용한 면적계산의 장점은 임의의 폐곡선에 대한 면적을 보다 정확하게 계산할 수 있다는 것이다. 즉, 수선면 아래 임의 선형에 대한 횡단면적 또는 종단면적을 정확히 계산해 낼 수 있다는 것이다. 또한, 폐곡선 내에 폐곡선이 존재해도 면적을 정확히 계산할 수 있다. 즉, 여객선과 같은 일부 선박은 선수하부에 터널형 추진기(tunnel thruster)를 나타내는 구멍이 있는데, 이러한 경우에도 구멍을 제외한 면적을 정확하게 계산할 수 있다. 이를 이용하여 면적뿐만 아니라, 도심, 모멘트 등도 계산할 수 있다. 선박의 수선면 하부 종단면적들을 계산하고 그 면적들의 합으로 배수량(displacement)을 계산할 수 있다. 또한, 모멘트 계산을 통해서 부심(LCB)을 계산할 수 있다. 수선면 하부 종단면적들의 곡선길이를 계산하면 침수표면적(Wetted Surface Area: WSA)을 얻을 수 있다. 임의 평면과의 교차계산이 가능하므로 선박의 평수(even keel) 상태뿐만 아니라 중경사(trim) 및 횡경사(heeling) 상태에 대해서도 확장 계산이 가능하다. 본 계산방법의 타당성을 검증하기 위하여 Aframax 급 유조선을 대상으로 경하출수 상태에서 TID와 본 계산 방법과의 차이를 비교하였다. Table 1에서와 같이 침수표면적을 제외하고는 파라미터의 값들이 매우

잘 일치함을 알 수 있다. 여기서 TID는 침수표면적 계산에서 선미와 선수의 곡선길이가 Fig. 4에서의 기준(baseline)로부터 점 2와 점 3 사이를 평판으로 취급하여 그 공간을 계산하기 때문에 침수표면적 계산에 오차를 포함하고 있다. 본 논문에서 개발한 모듈러는 이러한 문제점을 해결하여 정확한 침수표면적 계산이 가능하다.

Table 1. Comparison of TID and modular developed in this present study in calculating the hull parameters of Aframax Tanker at a trimmed condition

Parameter	TID	Present study	Difference (%)
Draft (m)	7.175		
Trim (m)	-4.0		
Displacement (m ³)	57153.6	57152.9	0.001
LCB (m)	121.82	121.81	0.008
WSA (m ²)	11122.5	11107.2	0.138
Cm	0.9945	0.9945	0
Cb	0.7609	0.7609	0

3. 성능해석 지원용 모듈러 구성

3.1 모듈러의 특징

선형 설계 파라미터 계산을 위한 모듈러 개발의 요구사항으로는 정확한 선형 표현이 가능할 것, 크기가 작을 것, 계산속도가 빠를 것, 확장성이 용이할 것, 그리고 선박계산 함수를 구비할 것 등이 있다. 정확한 선형 표현을 위해 국부 순정기법을 이용한 3차 복합 스플라인을 개발하였고, 크기와 구형속도를 위해 와이어 프레임 수준에서 처리하도록 했으며, 향후 확장성을 염두에 두고 OOP(Object Oriented Programming) 기법을 적용하여 객체단위로 모듈러를 제작하였다. 그리고 주요 선박계산 함수인 변적 및 도심 계산, 모멘트 계산, 곡선길이 계산, 그리고 교차점 계산 등을 정도 높게 수행 가능하도록 고려하였다.

3.2 모듈러의 구조

본 논문에서 구현한 모듈러 구성은 Fig. 5과 같다. 최소 객체는 점객체이며, TID에서 설계된 선형으로부터 이들 위치 정보를 포함하는 점객체(FPOINT)와 함께 점의 속성 즉, 미분 정보를 포함하도록 확장 점객체(SPOINT)를 정의하였다. 그리고 3차 스플라인 생성을 위한 정보는 단일 곡선객체(SPLINE)에 내부에 저장했고, 이들 점객체와 곡선객체를 아울러 3차원 복합 곡선 객체인 PCL을 만들었다. 이들 PCL로 선형의

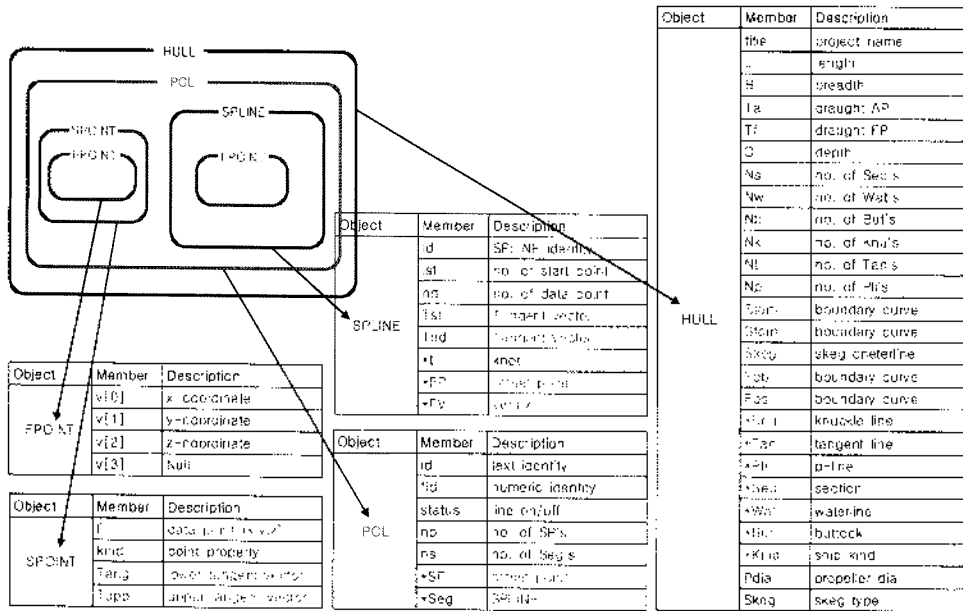


Fig. 5. Structure of hull modular.

기본 곡선들 즉, 정면도, 평면도 그리고 측면도 및 기타 보조 곡선들을 정의한다. 그리고 최종적으로 이들 PCL들이 모여서 하나의 선형(HULL)을 이루게 된다. 즉, HULL 객체는 이러한 PCL들을 하나로 묶어 선형에 대한 모든 곡선들의 특성을 가지도록 구성된다. 기존의 선형 작도법과 동일한 구조로 이루어져 있으므로 HULL 객체 하나로 하나의 선형을 충분히 표현할 수 있도록 하였다. 여기서 각각의 객체는 필요한 메소드(method)를 가지고 있다. Table 2는 단일 곡선 객체(SPLINE)에 대한 대표 메소드의 예를 나타내고 있다. 여기서 곡선의 생성과 정보의 입출력을 담당하는 그룹과 곡선의 길이, 폐곡면의 면적 및 모멘트 등

을 계산하는 그룹, 그리고 곡선을 새로이 해석하는 그룹 등이 포함되어 있음을 파악할 수 있다. 이와 같이 객체단위로 모듈러를 제작하였기 때문에 기존 모듈러를 조합하여 응용 프로그램에서 필요로 하는 선형 파라미터들을 위한 모듈러를 쉽게 생성할 수 있을 뿐만 아니라 새로운 파라미터들을 위한 확장이 용이하다.

4. 적용 결과

4.1 성능해석을 위한 선형 파라미터 계산

선형 데이터간의 호환성 확보는 입력자료 작성의 용이성과 밀접한 관계가 있다. 성능해석 프로그램은

Table 2. Method for SPLINE object

그룹명	함수명	설명
곡선 생성 및 정보 입출력	Seg_Init()	데이터 구조 초기화 및 좌표 입력 Curve fitting 객체 삭제 객체 복사 곡선의 경계점 찾기 3차원 곡선 2차원 투영 곡선 및 곡률
	Seg_Fit()	
	Seg_Del()	
	Seg_CopyTo()	
	Seg_Bound()	
	Seg_Curve()	
	Seg_Curvature()	
곡선의 특성치 계산	Seg_InterpolatePoint()	범선면과 교차점 계산 일의 평면과 교차점 계산 패위면적 계산 곡선길이 계산 패위면 모멘트 계산
	Seg_Intersect()	
	Seg_Area()	
	Seg_Arclength()	
	Seg_Moment()	
곡선의 변환	Seg_FourierAnalysis()	곡선의 Fourier 변환 Chebyshev Polynomials 변환
	Seg_ChevAnalysis()	

배우 다양한 방식의 선형 파라미터들을 필요로 한다.

이를 위해 전장에서 설명한 바와 같이 OOP 기반으로 모듈화하여 쉽게 프로그램을 확장 가능하도록 했다. 또한, 향후 사용자 인터페이스 개발을 위한 구조로서 모듈화를 지향하였다.

Table 3 및 Table 4는 선형 파라미터 계산을 위한 부 시스템(sub-system)과 이들 부 시스템으로부터 도출되는 선형 파라미터들의 예를 나타내고 있다.

설계 파라미터들은 TID로부터 기본적으로 제공되는 선형 파라미터들과 본 모듈러를 통해 계산되는 부가적인 파라미터들을 포함한다. 선형 파라미터들은 TID로부터 제공되는 선형 옵션, 그리고 주요제원 및 선박 흡수를 입력조건으로 하여 계산되며, 크게 흡수와 무관한 일반 파라미터들(Hull Form Parameter:

HFP)과 흡수조건에 의해 결정되는 유체정역학적인 요소(Hydrostatic Value: HV)로 분류된다. HV는 횡단면적곡선(SAC), 설계 흡수선(DWL), 그리고 이들과 독립적으로 국부적인 형상을 특징짓는 파라미터들을 포함한다. 횡단면적 곡선로부터 계산되는 파라미터들은 선형설계와 각종 배치에 매우 중요하므로 상용코드 및 기타개발 코드에서 얻을 수 있었다. 반면, 각종 성능 해석 코드들은 추정 정확도를 높이는 과정에서 보다 더 많은 파라미터들을 필요로 하는데, 본 모듈러에서 이를 위해 기본적으로 40개 이상의 파라미터들을 제공한다. HFP는 일반 형상으로부터 유도되는 매우 국부적인 파라미터들로 주로 구성되며, 35개 이상의 파라미터들을 제공한다. 각종 성능해석 프로그램들은 일반적으로 성능 해석을 위해 선형 옵션보다는

Table 3. Hydrostatic value for the use of performance analysis

Sub-component	Parameter	Description
Section Area Curve (SAC)	Disp,Cb	Displacement, Block coefficient
	Cm, Amax	Midship coefficient, Maximum section area
	LWL	Water line length
	LCB	Longitudinal center of buoyancy
	Cp	Prismatic coefficient
	LCBa, Cpa	Parameter for aft part of hull form
	LCBf, Cpf	Parameter for fore part of hull form
	Ea, Ef	$L/B*(1-Cpa)$, $L/B*(1-Cpf)$
	BAR	Bulb area ratio at given draft
	Cb4	Cb until 0.4 station
	B'	$B*SQRT(0.25+1/(B/T)^2)$
	Ea'	$L/B*(1-Cpa)$
	As	$Cm/(L/B)/SQRT(B/T*Cb)$
	AIT	Immersed transom area
	Br03	Sectional area ratio at 1/3 Amax
	Cpa'	Cpa to 5.0 station
	CPR	Cp value of run part
CPE	Cp value of entrance part	
Design Load Waterline (DLW)	Cw	Water line coefficient
	LCF	Longitudinal center of floating
	Cwa, LCFa	Coefficient for aft part hull form
	Cwf, LCFf	Coefficient for fore part hull form
	Eangle	Entrance angle
Cwa'	Cwa until 5.0 station	
SAC+DWL	Sigma_a	$(1-Cwa)/(1-Cpa)$
	Sigma_f	$(1-Cwf)/(1-Cpf)$
	Cvpa'	$Disp/(Cwa*L/2*B*Ta)$
	Sigma_a'	$(1-Cwa)/(1-Cpa)$
Etc	WSA	Wetted surface area
	KMT	Meter center height above base line
	Bluntness	Waterline bluntness coefficient
	VCB	Vertical center of buoyancy
	PI	Propeller immersion
	LIBA	Lateral immersed bulb area
	TRZ	Stern immersion height
	TRHL	$(Btr/B)/(Stern\ overhang/L_{pp})$
	TRAR	Immersed transom area ratio $Atr/(Amax*T)$
TTLS	Tunnel top line slop at half draft($T/2$)	

Table 4. Hull form parameter for the use of performance analysis

Sub-component	Parameter	Description
Section	BR Abulb Tau Ldiag BCL B07 S3 S3' Rfwd Raft	Bilge radius Bulb area at FP Criteria for U or V shape section Section shape at 1/3 Amax Breadth at SCH height of 2.0 station Breadth at 0.7R height of 2.0 station Stern area ratio in 1.5 station Stern area ratio in 1.0 station Curvature parameter at 19.5 ST Curvature parameter at 1.5 ST
Boundary	SCH PMBs, PMBe SO TH SA SBx Bl BlR BlI BW SternA LBA Hap SBD	Shaft center height above base line Parallel middle body start and end position Stern overhang(length from AP to aft end) Transom height above base line Screw aperture from AP Stern boss position from AP Bulb length from FP Bulb length ratio based on Lpp Bulb height above base line Bulb breadth at FP Slop of stern profile Lateral bulb area from FP Height at FP Stern boss diameter
Etc	Rangle PIC HSKEG LSKEG ASKEG XSKEG RSKEG TwDS TwTTL TwVSA TwLSA	Run angle Propeller tip clearance Longitudinal skeg height Longitudinal skeg length Longitudinal skeg area Longitudinal skeg centroid from midship Longitudinal skeg radius [Twin]Distance between shaft [Twin]Tunnel top line cross with base line [Twin]Vertical skeg angle on section [Twin]Longitudinal skeg angle on plan

이들 선형을 특징짓는 선형 파라미터들을 요구하고 있다. 따라서 이러한 파라미터들을 자동으로 생성하기 위한 연구가 시도되어 왔다. 그러나 이들 모두는 선형을 직접 다루지 않고 여기서 추출된 정보인 횡단면적 곡선 등을 다루고 있기 때문에 근본적으로 확장성에 한계가 있었다. 그러나 본 모듈러에서는 선형을 직접 다루어 각종 파라미터를 추출해 내므로 이론적으로는 어떠한 파라미터도 계산이 가능하다. Table 5는 Twin Skeg형 선미를 갖는 160k DWT셔틀 탱커의 성능계산을 위한 선형 파라미터 생성 예를 나타낸다.

4.2 운동성능해석을 위한 선형격자 생성

특수한 선박의 경우 운동성능을 평가하기 위해 모형시험 이전에 수치적 운동해석을 수행한다. 이러한 해석을 위해서는 선계선의 균일한 격자(panel)가 필요하다. 이들 격자를 포넬셜 계산에 이용하여 선체에 작용하는 압력 및 속도구배를 계산하게 된다. 그리고 계

산된 압력 및 속도구배를 각 운동방정식에 적용함으로써 횡운동(rolling), 종운동(pitching) 등의 6자유도 운동성능들을 추정 평가하게 된다. 이러한 운동계산을 위한 격자생성에 본 모듈러를 적용하여 빠르게 생성할 수 있다. 계산방법은 먼저 횡방향으로 요구되는 격자만큼 종단면을 생성한 다음 각 종단면 곡선의 선체길이를 계산한 후, 이를 요구되는 격자수로 나누어 격자간격을 구한다. 작게 나눈 곡선상의 점들과 대조하여 길이를 가감하는 방법으로 등간격의 길이를 갖는 격자를 쉽게 생성할 수 있다. Fig. 6은 160k DWT 셔틀 탱커와 162 m 여객선의 선형에 대해 20개의 격자점 생성에 본 모듈러를 적용한 결과를 나타낸다.

5. 결 론

이상을 정리하면 다음과 같다. 본 논문에서는 상임용 선형 설계시스템으로부터 설계된 선형과 본 논문

Table 5. An example of hull form parameters for twin skeg type 160k DWT shuttle tanker

>>HYDROSTATIC VALUES (HULL2 R1.50)				>>HULL FOR MPARAMETERS (HULL2 R1.50)			
Project Name		Shuttle		Project Name		Shuttle	
Ta	Draught at AP	(m)	16.0000	Stern Overhang	(m)	4.0000	
Tf	Draught at FP	(m)	16.0000	Transom Height ab BL	(m)	14.0000	
Cb	(based on L _{pp})		0.8303	Shaft Center Height	(m)	4.2411	
Cp	(based on L _{pp})		0.8323	Screw Aperture fr AP	(m)	7.8793	
Cm	(based on A _{max})		0.9977	Stern Boss position	(m)	5.8578	
LCB	(from MS)	(%L _{pp})	2.4137	Bulb Length fr FP	(m)	5.9000	
A _{max}	Max sec. area	(m ²)	734.2832	Bulb Length Ratio		0.0232	
WSA	Wetted Surface Area	(m ²)	17449.1086	Bulb Height ab BL	(m)	12.0000	
LWL	Water Line Length	(m)	258.0000	Bulb Bread that FP	(m)	9.3620	
Disp	Displacement	(m ³)	155226.28	Bulb Area at FP	(m ²)	112.1883	
C _{pa}			0.7755	Stern Boss Diameter	(m)	0.4822	
LCBa			74.4809	Slop Stern Profile	(deg)	20.6165	
Ea	L/B* (1-C _{pa})		1.2398	BR Bilge Radius	(m)	2.0000	
C _{pf}			0.8891	Tau (V or U shape)	(deg)	31.2336	
LCBf			184.2855	Run Angle	(deg)	8.3792	
Ef	L/B* (1-C _{pf})		0.6124	Lateral Bulb Area (at FP)	(m ²)	75.2338	
C _w	(based on L _{pp})		0.9191	Prop. Tip Clearance	(%dia.)	44.7144	
LCF		(m)	124.8247	Height at AP	(m)	12.5560	
C _{wa}			0.9336	Parallel Midbody Start	(st)	9.0000	
Sigma _a	(1-C _{wa})/(1-C _{pa})		0.2955	Parallel Midbody End	(st)	14.8000	
LCFa		(m)	66.5508	L/Ldiag		13.9599 / 22.7466	
C _{wf}			0.8219	L/Ldiag Section Shape at 1/3 A _{max}		0.6137	
LCFf		(m)	190.7983	BCL Bread that SCH of 2.0 st	(m)	11.8673	
Sigma _f	(1-C _{wf})/(1-C _{pf})		1.6058	B07 Bread that 0.7R of 2.0 st	(m)	12.0926	
Bluntness coefficient			0.4137	S3=A1/A2		1.2542 / 80.7930	
VCB	(from BL)	(m)	8.3569	S3 Stern Area Ratio in 1.5 st		0.0155	
KMT	(from BL)	(m)	17.8704	S3'=A3/A4		15.0757 / 53.8620	
Entrance Angle		(deg)	59.3621	S3' Stern Area Ratio in 1.0 st		0.2799	
Stern immersion		(m)	2.0000	HSKEG Longi. Skeg Height	(m)	12.5560	
Bulb Area Ratio			0.1528	LSKEG Longi. Skeg Length	(m)	34.7812	
C _{b4}	C _b until 4.0 st		0.5270	ASKEG Longi. Skeg Area	(m ²)	131.4093	
Propeller Immersion		(m)	8.7589	XSKEG Longi. Skeg Centroid from M.S.		110.3509	
B'	B*SQRT(0.25+1/(B/T) ²)		28.0179	RSKEG Longi. Skeg Radius	(m)	504.0624	
Ea	L/B* (1-C _{pa})		2.0355	[TWIN]Distance bewteen shafts,	(%B)	36.6946	
As	C _m /(L/B)/SQRT(B/T*C _b)		0.1169	[TWIN]ITL cross position with B.L.	(st)	4.0093	
C _{vpa}	Dispa/(C _{wa} *1/2*B*Ta)		0.8286	[TWIN]Vertical Skeg Angle	(deg)	14.0366	
ATT	Immersed Transom Area	(m ²)	0.0000	[TWIN]Longi. skeg angle at 1.0 ST	(deg)	2.5233	
Br03=B1/B2			485.3532 / 734.2832				
Br03	Section Area Ratio at 1/3 A _{max}		0.6610				
C _b /(L/B)			0.1504				
Lateral	Immersed Bulb Area	(m ²)	75.2338				
C _{pa} '	C _{pa} to 5.0 ST		0.6629				
C _{wa} '	C _{wa} to 5.0 ST		0.8669				
Sigma _a '	(1-C _{wa} ')/(1-C _{pa} ')		0.3948				
CPR	CP of Run Part		0.7505				
CPE	CP of Entrance Part		0.7867				
[TWIN]Tunnel Top Line Slop at T/2	(deg)		21.5893				

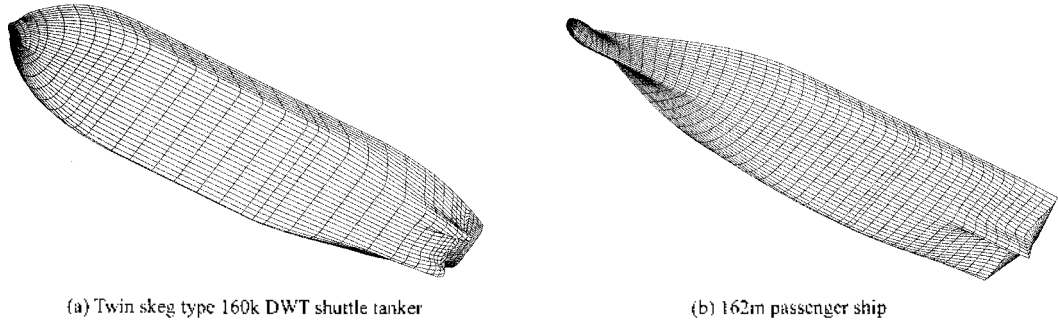


Fig. 6. Examples of panel generation for motion analysis.

에서 소개한 모듈러에 의해 생성된 선형의 유체 영역학적 특성이 약 0.2% 이내의 오차 내에서 리모델링을 확인(Table 1)하였고, 이로부터 다양한 선형 설계 파라미터들을 계산(Table 3-Table 5) 할 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 상용 선형설계 CAD 시스템에서 설계된 선형을 국부 곡선 순정을 적용한 3차 복합 스플라인 곡선을 이용하여 리모델링한 후, 다양한 성능 평가 시스템에 필요한 선형 설계 파라미터들을 제공할 수 있는 설계 CAD 모듈러 개발을 그 목적으로 하였다. 각 모듈러는 객체 지향 프로그램 기법(OOP)으로 개발하여 유지보수 및 확장에 매우 유리한 구조를 가지게 하였다. 또한, 곡선 교차 알고리즘과 가우스 구적법을 중심으로 선형 파라미터 계산 모듈러들을 구성하여, 유체정역학적 및 기하학적 특성을 정확하고 빠르게 계산할 수 있게 하였다. 상용시스템과의 유체 정역학적인 특성 비교 및 검증은 통해 선형정보의 왜곡없이 리모델링됨을 확인하였다. 비록 TID라는 특정 선형설계 시스템의 선형정보를 기반으로 모듈러를 제작하였지만, 옵션과 첨점 및 절점의 비분정보만 확보할 수 있으면 특정 상용 시스템에 제한되지 않고 선형의 리모

델링이 가능하며, 현업의 요구에 충분히 부응할 수준의 표현 정도를 가짐을 확인하였다.

본 논문에서 개발된 모듈러는 현재 일반 단축 상선 뿐만 아니라 쌍축선 및 여객선 등의 각 성능해석용 프로그램을 위한 선형 파라미터 계산과 격자생성에 적용되고 있으며, 향후 본 모듈러를 확장하여 선형의 변환 및 가공을 위한 모듈로도 활용 예정이다.

참고문헌

1. Kim, H.C., "Parametric Design of Ship Hull Forms with a Complex Multiple Domain Surface Topology", Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin, 2004.
2. Harries, S., "Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms", Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin, 1998.
3. NAPA Oy's Website: <http://www.napa.fi>
4. EzGRAPH Website: <http://www.ezgraph.net>
5. Piegl, L. and Tiller, W., "The NURBS Book", Monographs in Visual Communication, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.
6. Westgaard, G. "Construction of Fair Curves and Surfaces", Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin, 2000.



손혜종

1994년 경북대학교 기계공학 학사
1996년 한국과학기술원 항공공학 석사
1996년~현재 삼성중공업 조선해양연구소 책임연구원

관심분야: Hull Form Design, Propeller Design, Computational Fluid Dynamics



김현철

1993년 부산대학교 조선공학 학사
1995년 부산대학교 조선공학 석사
1997년 부산대학교 조선공학 마사르정수로

2004년 독일 Technical Univ. of Berlin 조선해양공학 박사

1999년~2000년 독일 Technical Univ. of Berlin Visiting Researcher

2004년~현재 삼성중공업 조선해양연구소 책임연구원

관심분야: Computer Aided Geometric Design, Optimization, Artificial Intelligence in Ship Design