
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 3 號 1997年 8月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 3, August 1997

무리함수와 선형 특성 곡선들을 이용한 고속연안어선의 선형생성에 관한 연구

김수영*, 김현철**, 백준명***, 이충렬***

A Study about Hull Form Generation of High-Speed Coastal Fishing
 Vessel using Irrational Function and Hull Form Characteristic Curves

by

Soo Young Kim*, Hyun Cheol Kim**, Jun Myung Baek***
 and Choong Ryoul Lee***

요 약

본 연구는 고속연안어선의 선형을 전산기 내에서 효율적으로 표현하는 방법을 나타낸다. 즉, 선형을 특징짓는 선형 특성 곡선들(Hull form characteristic curves)로부터 무리함수를 사용하여 선형을 전산기 내에서 표현하였다. 그리고 선형 특성 곡선을 NURBS 곡선으로 표현하여 선형 변환을 수행하는 방법을 제시하였다.

Abstract

This paper presents a mathematical method that represents efficiently high-speed coastal fishing vessel. That is, it represents the numerical hull by using irrational function and hull form characteristic curves, which define a hull form under design conditions. Then it suggests a process that hull form characteristic curves are represented with NURBS and hull form is varied.

접수일자 : 1995년 11월 7일, 재접수일자 : 1997년 4월 21일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과/기계기술연구소

** 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과, 박사과정

*** 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과, 석사과정

1. 서 론

우리나라의 연안어선에 이용되는 소형어선은 8만 여척으로 목선에서 FRP선으로 선질 대체가 진행되고 있다[1]. 어선의 FRP화는 구조적 견지에서 보면 균질의 강도를 보장하고, 배의 경하 중량을 가볍게 할 수 있으므로 보다 고출력 엔진의 탑재와 어창 등의 공간 확대를 가능하게 하는 효과를 가져와서 어선의 성능 향상에 공헌하고 있지만, FRP화에 따르는 선체 형상 개량과 설계상의 문제점들이 연구개발의 과제로 계속 주어져 있다. 예를들면 목조선과 동일한 선형으로 건조된 FRP제 어선에서는 흘수가 감소되기 때문에 프로펠러 잠김(Immersion)이 부족하게 되고 예망력이 저하된다.

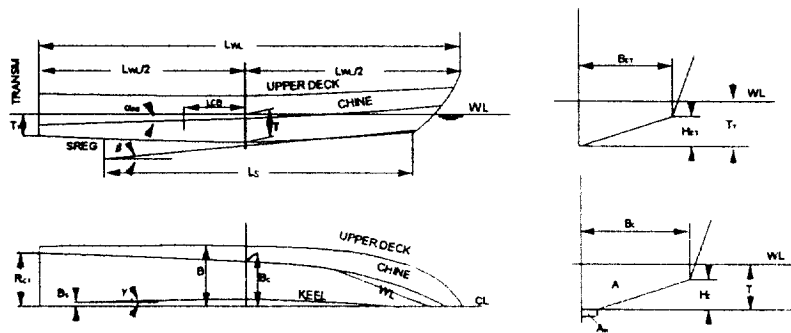
한편, FRP제 선박은 종업원 10명 이하의 소조선소에서 건조될 경우가 많고 대형선과는 달리 틀(Mold)에 의한 선형 제작방식이 취해지는 것이므로, 일단 한번 필요한 틀이 생기면 성능이 나쁜

배가 대량 생산될 수 있는 위험성도 생긴다.

이에 대처하기 위해서는 개개인의 장기간에 걸친 경험 축적에 의한 건조 방식으로부터 벗어나서 보다 체계적인 분석 연구 결과를 선형 개량에 적용할 필요가 있다.

이 경우 설계 작업의 전산화가 필요하며, 그 중에서 초기 선형의 수학적 표현에 의한 정확한 형상 또는 선형 정보는 후속되는 여러 기술적인 해석 - 유체 흐름, 저항, 구조 강도, 진동 -을 위해서 중요한 의미를 가진다.

따라서 본 연구에서는 고속연안어선의 선형을 전산기 내에서 보다 정도(Precision)있게 표현하는 방법을 나타내었다. 즉, 선형을 특징짓는 선형 특성 곡선들(Hull form characteristic curves)을 정의하고, 이들로부터 무리함수를 사용하여 선형을 전산기 내에서 표현하였다. 물론 배수량, 부심위치 등이 계산될 수 있다. 그리고 선형 특성 곡선들을 통해 선형 변환을 수행할 수 있으므로 곡선 제어(Curve control)가 우수한 NURBS 곡선을 이용하



- L_{WL} : 수선길이
- B_c : L_{WL}/2에서 차인폭(외판의 외면)
- T : L_{WL}/2에서 외판과 Keel의 접점에서 WL까지의 높이(형흘수)
- C_T : Transom에서 차인폭(외판의 밖)
- T_T : Transom에서 외판저부에서 WL까지의 높이(Transom 후단의 흘수)
- q_B : B_c/4의 폭을 갖는 Buttock line과 Transom 및 L_{WL}/2단면과의 교점을 이은 직선이 WL과 이룬 각도.
- A_K : L_{WL}/2에서 Keel과 외판의 접점이하의 키일 단면적
- A : L_{WL}/2에서 Keel과 외판의 접점이하의 WL까지의 단면적
- LCB : Transom에서 부심 B까지의 수평거리
- ▽ : 배수용적

Fig.1 The hull form of high-speed coastal fishing vessel

여 선형 특성 곡선들을 정의함으로써 효율적인 선형 변환을 수행하였다.

2. 고속연안어선의 선형 특성

우리나라 연안어선의 선형은 톤수별·해역별·업종별 특성에 따라 달라진다[1]. 그러나 고속연안어선의 대부분은 Fig.1에서 보듯이 Hard chine을 가진 V형 각형선으로 이들의 속장비 (v/\sqrt{L})는 1.1~1.5를 나타내고 있다. 그리고 고속연안어선의 Hard chine type은 어선의 고속화에 맞추어, 선미에서 수선과 평행한 특성을 가진다[2~5].

Fig.1과 같은 고속연안어선의 선형을 전선기 내에서 구현하기 위해서는 다음의 선형 특성 곡선을 필요로 한다.

- ① Design water line : DWL
- ② Hard chine line
- ③ Profile line
- ④ Bottom tangent line

선형 특성 곡선(Hull form characteristic curve)이란 선형 생성에 관계하는 특징을 나타내는 곡선으로, 초기 선형 생성에 중요한 기하학적 정보를 제공한다[6][7]. Fig.2는 Hard chine type 선형에 대한 선형 특성 곡선 - Design water line, Hard chine line, Profile line, Bottom tangent line - 을 나타낸 것이다.

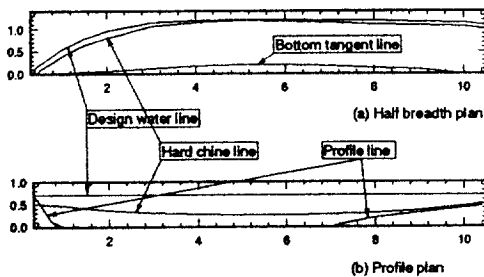


Fig.2 Hull form characteristic curves

3. 선형의 수학적 표현

3.1 무리함수에 의한 곡선의 표현

무리함수란 함수의 독립변수가 무리함수로 표현되는 식을 나타내며, 원호뿐만 아니라 여러 다른 유형의 곡선 표현에도 적용할 수 있다.

곡선상의 두 점 $(x_{min}, y_{min}), (x_{max}, y_{max})$ 이 주어져 있을 때 무리함수에 의한 곡선의 표현식은 식(1)과 같다.

$$y = k(x - x_{min})^{\frac{1}{p}} + y_{min}, \quad x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (1)$$

여기서

$$k = \frac{y_{max} - y_{min}}{(x_{max} - x_{min})^{\frac{1}{p}}}$$

p : 임의의 상수

식(1)은 p 의 값에 따라서 여러 유형의 곡선을 표현할 수 있으며, Fig.3은 p 의 값에 따른 곡선의 변화를 나타내고 있다.

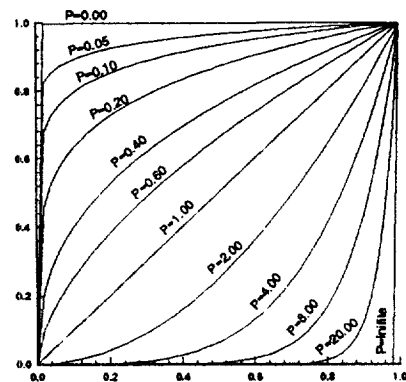


Fig.3 The curves of irrational function

식(1)을 매개변수 t 로 표현하면 식(2)로 된다.

$$\begin{aligned} x &= (x_{max} - x_{min}) \cdot t + x_{min} \\ y &= (y_{max} - y_{min}) \cdot t^{\frac{1}{p}} + y_{min} \end{aligned} \quad (2)$$

$$0 \leq t \leq 1$$

식(2)의 접선구배를 구하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} x' &= x_{\max} - x_{\min} \\ y' &= \frac{1}{p} \cdot (y_{\max} - y_{\min}) \cdot t^{\frac{(1-p)}{p}} \end{aligned} \quad (3)$$

3.2 NURBS 곡선에 의한 표현

NURBS 곡선은 “Nonuniform Rational B-spline Curve”의 약어로서 노트벡터(Knot vector)를 균일하게 정할 필요가 없으며, 조정점의 이동 뿐만 아니라 가중치의 변화에 의해 형상을 변화시킬 수 있는 특성을 갖는다. 그러므로 NURBS는 자유형상인 선형표현에 B-spline곡선보다 더 포괄적으로 사용될 수 있다.

NURBS 곡선의 정의에는 가중치와 동차 좌표(Homogeneous coordinate)가 사용된다[8][9].

즉, $P = \{x, y, z\}$ 가 3차원 실수 공간 R^3 상의 점이라면, 이들 점에 대응하는 4차원 실수 공간 R^4 상의 점은 식(4)와 같이 표현된다.

$$\bar{P} = \{hx, hy, hz, h\}, \quad h > 0 \quad (4)$$

이것은 3차원 상의 점열을 4차원 상의 점열에 사상(Mapping)시킨 것으로, 가중치 h 는 이러한 투영 공간을 조절한다.

B-spline 곡선식에 동차 좌표를 이용하면 Rational B-spline 곡선식이 유도된다. 즉, R^3 공간상의 조정점 Q_i 에 대응하는 R^4 공간상의 조정점 $\bar{Q}_i = \{h_i Q_i, h_i\}$ 를 포함하는 R^4 공간상의 B-spline 곡선식 $\bar{P}(t)$ 는 식(5)와 같게 된다.

$$\bar{P}(t) = \sum_{i=0}^n \bar{Q}_i \cdot N_i^k(t) \quad (5)$$

곡선식 $\bar{P}(t)$ 를 구성하는 R^4 공간상의 점들은 동차 좌표 내의 처음 3개의 좌표에 대응하는 가중치 h 로 나눔으로써, R^3 공간상으로 사상시킬 수 있다.

이때 사상된 곡선식 $P(t)$ 는 Rational B-spline 곡선식으로 식(6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P(t) &= \frac{\sum_{i=0}^n h_i Q_i N_i^k(t)}{\sum_{i=0}^n h_i N_i^k(t)} \\ &= \sum_{i=0}^n Q_i R_i^k(t) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{여기서, } R_i^k(t) = \frac{h_i N_i^k(t)}{\sum_{i=0}^n h_i N_i^k(t)}$$

$R_i^k(t)$ 는 Rational B-spline의 기본 함수(Basis function)이며, $N_i^k(t)$ 는 식(7)과 같이 정의된 정규화된 Degree k 의 B-spline 기본 함수이다.

$$\begin{aligned} N_i^0(t) &= \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq t < t_{i+1}, \quad t_i < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ N_i^k(t) &= \frac{t - t_i}{t_{i+k} - t_i} N_i^{k-1}(t) \\ &\quad + \frac{t_{i+k+1} - t}{t_{i+k+1} - t_{i+1}} N_{i+1}^{k-1}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

이때 t_i 는 노트벡터(Knot vector)를 형성하는 노트들(Knots)이다. 그리고 곡선의 노트벡터가 불균일한 경우 NURBS(Nonuniform Rational B-spline) 곡선으로 된다.

3.3 무리함수에 의한 선형 표현 및 NURBS 곡선에 의한 선형 변환

선형의 각 단면을 수치적으로 표현하는데 있어서 일반적으로 주어진 오프셋(Offset)을 지나는 보간곡선을 구하여, 이를 순정(Fairing)하는 방법[7][10]을 사용한다. 그러나 이러한 방법은 다음과 같은 단점을 가진다.

- ① 다수의 침점(Cusp)을 가지는 선형을 하나의 곡선식으로 정의하기가 어렵다.
- ② 곡선의 연속성 유지를 위해 경험이 많은 설계자의 감각에 의존한 순정 작업을 필요로 한다.
- ③ 선수미부의 부족한 정보로 정확한 선형의 표현이 어렵다.

특히, ②는 선형이 불연속부를 가질 경우 오프셋에 의해 이를 표현하기에는 여러 가지 어려움이

따른다. 즉, 읍셀에 의한 전산기 내의 선형 표현은 이들 불연속부에서 여러번의 시행착오를 거쳐야 하고, 불연속부 사이의 선형의 순정도 검토해야 한다. 또한 생성된 선형이라도 변환을 하고자 할 경우에는 다시 상기와 같은 어려움이 따른다.

반면, 선형 특성 곡선을 이용한 무리함수에 의한 선형 표현은 다음과 같은 이점을 가진다.

- ① 불연속점을 사이에 두고 곡선이 정의되므로 곡선식의 정의가 쉽다.
- ② 곡선식에서는 항상 C^1 급 연속성을 가진다.
- ③ 선형 특성 곡선에 의해 선형 변환이 용이하다.

본 연구에서는 읍셀이 아닌 선형 특성 곡선을 이용하여 선형을 생성하고 변환도 용이하게 하고자 하였다. 따라서 초기 선형 설계를 위한 데이터 베이스는 읍셀이 아니라 이들 선형 특성 곡선들의 구축을 필요로 한다. 구축된 선형 특성 곡선은 무리함수에 의해 선형을 표현할 수 있고, NURBS 곡선에 의한 선형 특성 곡선의 변화에 따라 선형 변환을 수행할 수 있다[9].

(1) 무리함수에 의한 선형 표현

고속연안어선의 선형생성에서 선형 특성 곡선은 각 단면(Section)에서 무리함수의 처음과 끝점이 된다. 즉, 선형 특성 곡선은 각 단면에서 첨점을 가지며, 이들 첨점사이의 곡선은 원호나 직선의 형태로 표현할 수 있다.

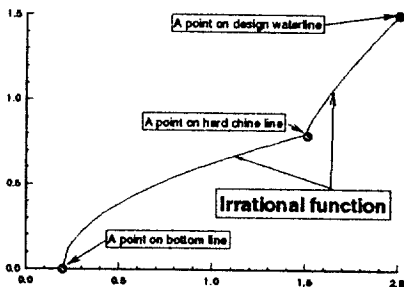


Fig.4 Definition of a section using irrational function

Fig.4는 선형 단면을 매개변수를 이용한 무리함수 표현식 (2)에 의해 표현한 것이다.

선형 특성 곡선들은 각 단면을 결정하는 특성 점(Point)들을 형성하게 되므로 무리함수를 이용하여 이를 정의하게 된다. 그리고 Fig.5는 p의 값에 따른 단면 형상의 변화를 나타낸 것이다.

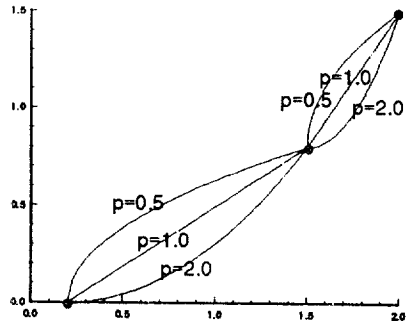


Fig.5 Variation of a section according to p

(2) NURBS 곡선에 의한 선형 특성 곡선의 정의 및 변환

무리함수에 의한 선형 생성 방법은 선형 특성 곡선에 의해 정의되므로, 선형 변환 방법은 이들 곡선을 변화시킴으로써 효율적으로 수행할 수 있다.

본 연구에서는 선형 특성 곡선의 표현에 곡선 제어 방법(Curve control method)과 표현 방법이 우수한 NURBS 곡선을 이용하였다. 즉, Fig.2의 선형 특성 곡선들을 식(6)의 NURBS 곡선식으로 정의하여, 이를 이용하여 선형변환을 수행하였다.

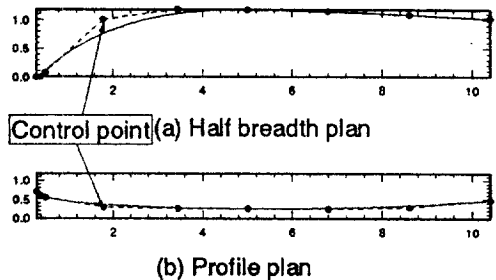


Fig.6 The representation of a hard chine line using NURBS curves

Fig.6 (a)(b)는 선형 특성 곡선들 중에서 3차원 공간상의 Hard chine line에 대해 조정점을 생성하여 NURBS 곡선식으로 표현한 것을 나타낸다. 여기서 점선은 조정점, 실선은 특성 곡선을 표시한다.

4. 고속연안어선의 선형 생성 흐름도

고속연안어선의 선형을 생성하고 변환하기 위해 다음의 단계에 따라 수행할 수 있고, 흐름도는 Fig.7과 같다.

- 1단계 : 무리함수에 의해 선형 표현
- 2단계 : 부심위치, 배수량 등을 계산한다.
- 3단계 : NURBS 곡선에 의한 선형 특성 곡선의 조정
- 4단계 : 설계 조건을 만족할 때까지 1에서 3단계까지의 과정을 반복한다.

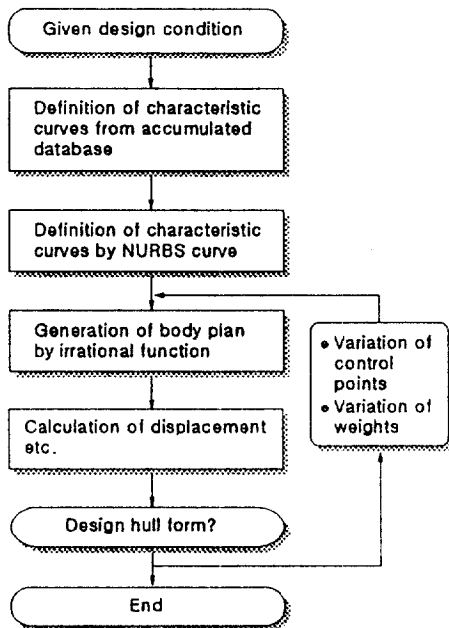


Fig.7 The hull form generation process of high speed coastal fishing vessel

5. 실선 적용 예

본 연구에서 개발한 방법을 7.93톤급 서해안 연안 유자망 어선에 적용하여 선형 생성 결과를 검토하였다. 연안어선의 주요 치수는 다음과 같다.

수선간 길이	13.00 m
폭	3.20 m
높이	1.20 m
계획흘수	0.84 m

Fig.8은 선형 특성 곡선 - Design water line, Hard chine line, Profile line, Bottom tangent line - 을 안내 곡선(Guide curve)으로 하고 식(2)의 무리함수를 사용하여 선형을 생성하고, 그 결과를 주어진 오프셋(Offset)과 비교한 것이다. Fig.8에서는 무리함수로 표현된 각 단면들이 주어진 오프셋에 잘 일치하고 있으며, Hard chine line을 경계로 한 선형은 각기 C^1 급 연속성을 가지며 표현된다.

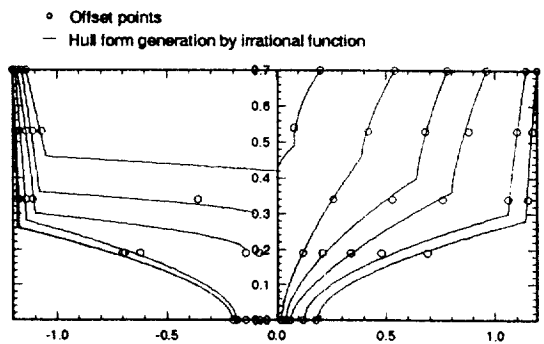
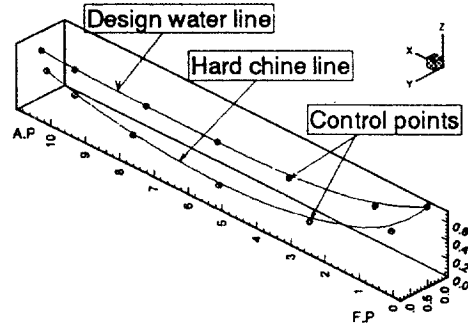
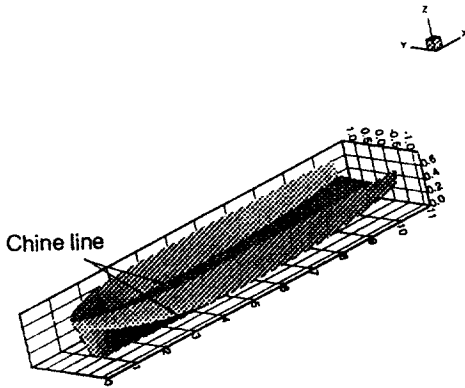


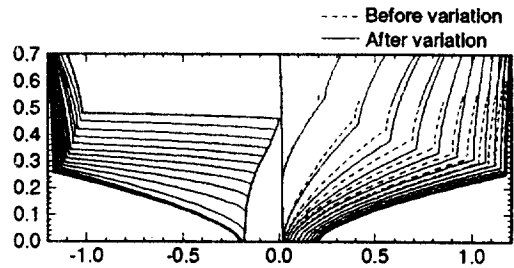
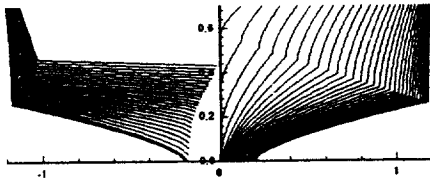
Fig.8 The comparison of a hull form by a method in this paper and a offset points

Fig.9는 Fig.8을 3차원으로 나타내고, 3차원 형상 정보로부터 정면도(Body plan), 반폭도(Half breadth plan), 측면도(Profile plan)를 나타낸 것이다.

Fig.10은 Fig.9의 선형 특성 곡선을 NURBS 곡선으로 정의하여 선형변환을 수행한 것이다.



(a) Control points and NURBS curves about a Design water line and a Hard chine line



(b) Comparison of a parent ship and a variation ship

Fig.10 Hull form variation by varying of characteristic curves

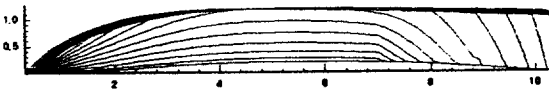


Fig.9 A hull form represented by characteristic curves and irrational functions

Fig.10 (a)는 Design water line과 Hard chine line에 대해 각 7개의 조정점(Control point)들을 나타내고, 이를 NURBS 곡선으로 표현한 것이다 [7]. Fig.10 (b)는 Design water line의 두 번째와 세 번째 조정점에 (-0.02, 0.02, 0)씩 변화를 주고, Hard chine line의 두 번째와 세 번째 조정점에 (-0.01, 0.01, -0.01)씩 변화를 주었을 경우 선형 변환 결과를 나타낸 것이다. 점선은 변환 전이고 실

선은 변환 후의 선형을 나타낸다.

이와 같은 선형 변환 방법은 선형 특성 곡선을 변환하여 선형을 생성하므로 선체의 종방향에 대한 연속성을 만족하면서 동시에 각 단면의 선형을 생성한다. 또한 후속되는 기술적인 계산 및 해석과 결합될 경우 보다 효율적이고 정도(Precision) 있게 설계조건에 따른 Hard chine line을 갖는 고속연안어선 선형 설계를 수행할 수 있을 것이다.

6. 결 론

이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 일반화한 무리함수와 선형 특성 곡선을 사용하여 고속연안어선의 보다 효율적인 선형 생성 및 변환 방법을 시도하였다.
- (2) 선형생성을 위한 데이터베이스 구축에서 옵션의 유형이 아닌 특성 곡선 정의 방법을 사용하였다.
- (3) 일반화한 무리함수에 의해 정의된 선형단면은 불연속점을 기준으로 C^1 급 연속성을 항상 만족하므로 부가적인 선형 순정 과정이 필요치 않는다.
- (3) 후속되는 선체 계산 및 해석에 보다 정확한 선형 정보를 제공할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 수산청, "표준어선 개발을 위한 조사 연구", 1992. 12.
- [2] 수산청, "표준어선형 연구개발(Ⅰ)", 1994. 3.
- [3] 수산청, "표준어선형 연구개발(Ⅲ)", 1995. 3
- [4] 손영대, "고속연안어선의 선형 생성과 저항 성능 분석 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1994
- [5] 日本水産工学研究所漁船工学部, "高速沿岸船舶の速力性能に關する研究", 水産工学研究報告書 第5號, 1984
- [6] 강사원, "B-spline form parameter 방법에 의한 선형 설계 기법 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1990
- [7] 안 당, "Form parameter를 이용한 선형 생성과 페어링에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1994
- [8] L. Piegl, "On NURBS : A survey", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 11, No. 1, pp. 55-71, 1991
- [9] 김현철, "SAC와 NURBS 곡선을 이용한 초기 선형 생성에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1995
- [10] Su Bu-qung, Liu Ding-yuan, "Computational Geometry - Curve and Surface Modeling", Academic Press, London, 1989