
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 32 卷 第 2 號 1995年 5月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 32, No. 2, May 1995

NURBS곡선을 이용한 수중운동체의 선형정의

김현철*, 표선식*, 김수영**

Hull Form Definition of Underwater Vehicle using NURBS Curve

by

Hyun Cheol Kim*, Seon Sik Pyo* and Soo Young Kim**

요 약

본 연구는 수중운동체의 선형을 수치적으로 표현하고 변형하는 기법을 내용으로 한다. 즉, 주요 치수 - 전체길이, 중앙평행부의 길이, entrance 및 run부분을 정의하는 계수(이하 entrance 및 run계수라 한다.)등 - 를 주어진 설계조건으로 하여 실린더형 수중운동체를 생성하고, 이것을 NURBS(Nonuniform rational B-spline)곡선으로 표현한다. 또한 선형의 각 단면은 사용자 Interface를 통해 변화되고, 얻어진 수중운동체의 Offset과 횡단면적 곡선(Sectional Area Curve:SAC)을 도출한다.

Abstract

This paper suggests a numerical method that creates and varies hull form geometry of underwater vehicle. That is, it induces the cylindrical underwater vehicle from principal dimensions - total length, the length of parallel middle body, the coefficient defining entrance & run parts etc. - and represents using NURBS curve. Also, each section of hull form is varied by user interface and Sectional Area Curve is generated.

접수일자 : 1994년 9월 23일, 재접수일자 : 1995년 5월 22일

* 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

** 정회원, 부산대학교 조선해양공학과 / 기계기술연구소

1. 서 론

최근 선진국가들은 첨단 과학 기술을 활용하여 대륙붕 및 심해저 해양개발에 주력하고 있다. 3면이 바다인 우리나라도 주변해역의 부존자원 개발이 요구되며, 이에 수반하여 해양자원의 탐사·개발, 해양환경 조사·관측 등 다양한 기능을 갖는 수중운동체의 개발이 필요한 실정이다.

수중운동체는 용도에 따라 잠수 여객선, 심해 탐사선, 잠수함 및 심해 구난선 등으로 분류되며, 이들의 활동영역은 해심이 수십미터에서 수천 미터까지에 이른다. 따라서, 수중운동체는 활동하는 해역에서의 수압에 견디고, 수면으로 부상 가능한 구조를 가지며, 선내외에서의 작업조건을 만족해야 하므로 신뢰성, 경제성, 작업성 및 이를 뒷받침하는 복합적인 첨단 기술이 요구되고 있다.

이러한 수중운동체에서 내압선각은 단면형상이 원형으로 구성되는 실린더형, 구형, 실린더 및 구형의 혼합형 등이 대부분이지만[1][2], 외판선형은 설계목적에 따른 형상조건으로 인해 그 단면이 부분적으로 원형에서 벗어난 형상을 가질 수 있다[4][5]. 즉, 중량과 배수량의 비, 예비부력의 크기 등을 고려하고, 수중운동체 내부에 장착해야 할 필요공간을 검토해야 하며 동시에 외판선형에 의한 유체역학적·구조역학적 성능을 생각하여 이를 반영시킬 필요가 있다.

한편, 수상선의 경우 초기선형의 생성방법은

① 표준계열선의 보간에 의한 방법

② 기준선의 체계적인 변환에 의한 방법

으로 일반적으로 분류할 수 있지만, 이들 방법은 과거의 선형자료들로부터 설계선을 도출하는 방법이므로, 축적된 선형자료가 거의 없는 수중운동체의 초기 선형설계에는 다른 효과적인 방법이 요구된다. 또한 수중운동체의 경우는 수상선과는 달리 침수표면적이 폐곡면으로 되어 있으므로, 닫힌(closed)형상에 대한 기하학적 접근방법이 시도되어야 한다.

본 연구에서는 수중운동체의 선형을 타원과 포물선의 변형된 수식표현으로부터 실린더형 선형을 도출하고, 조정점과 가중치를 변화시켜 단순한 형상에서 자유형상까지를 포괄적으로 나타낼 수 있는 NURBS(Nonuniform Rational B-spline)곡선[6][7][8][9]을 이용하여 임의 단면을 가지는 선형의 정의를 시도하였다. 그리고 얻어진 선형의 만족여부는 이들 선형에 대해 작성한 SAC와 선형의 정면도, 측면도의 시각화를 통해 검토할 수 있도록 하였다.

2. 실린더형 수중운동체의 선형생성

초기설계에서 주요치수 - 길이, 반경, entrance 및 run계수, 중앙평행부의 길이 - 가 주어질 경우 실린더형 수중운동체의 선형은 식(1)과 식(2)으로 결정된다.

$$\text{앞부분} \quad y_f = \frac{D}{2} \left[1 - \left(\frac{x_f}{L_f} \right)^{n_f} \right]^{\frac{1}{n_f}} \quad (1)$$

$$\text{뒷부분} \quad y_a = \frac{D}{2} \left[1 - \left(\frac{x_a}{L_a} \right)^{n_a} \right]^{\frac{1}{n_a}} \quad (2)$$

L : 전체 길이 (m)

L_f : entrance부분의 길이 (m)

L_a : run부분의 길이 (m)

L_{PMB} : 중앙평행부의 길이 (m)

D : 실린더의 최대 직경 (m)

x_f : entrance부분의 횡좌표 (m)

x_a : run부분의 종좌표 (m)

y_f : entrance부분의 횡좌표 (m)

y_a : run부분의 종좌표 (m)

n_f : entrance계수

n_a : run계수

선형은 Fig.1에서와 같이 중앙평행부(Parallel Middle Body : PMB)가 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 분류하고, 길이방향을 중심축으로 하여 entrance부분은 타원형을, run부분은 포물선형을 이루는 회전체로 구성한다. 선미로부터 0.4L에서 최대 반경을 가지며, entrance부분의 길이(L_f)는 2.4D, run부분의 길이(L_a)는 3.6D 그리고 $L/D=6$ 인 회전체를 생각하였다[3]. entrance부분과 run부분에서의 각 station에서의 횡단면의 반경은 Offset에 최대 직경의 반 즉, $D/2$ 를 곱하여 결정한다.

Fig.2와 Fig.3은 entrance 및 run계수의 값에 따라 선수·선미형상이 변화하는 양상을 나타낸다.

3. NURBS곡선의 정의

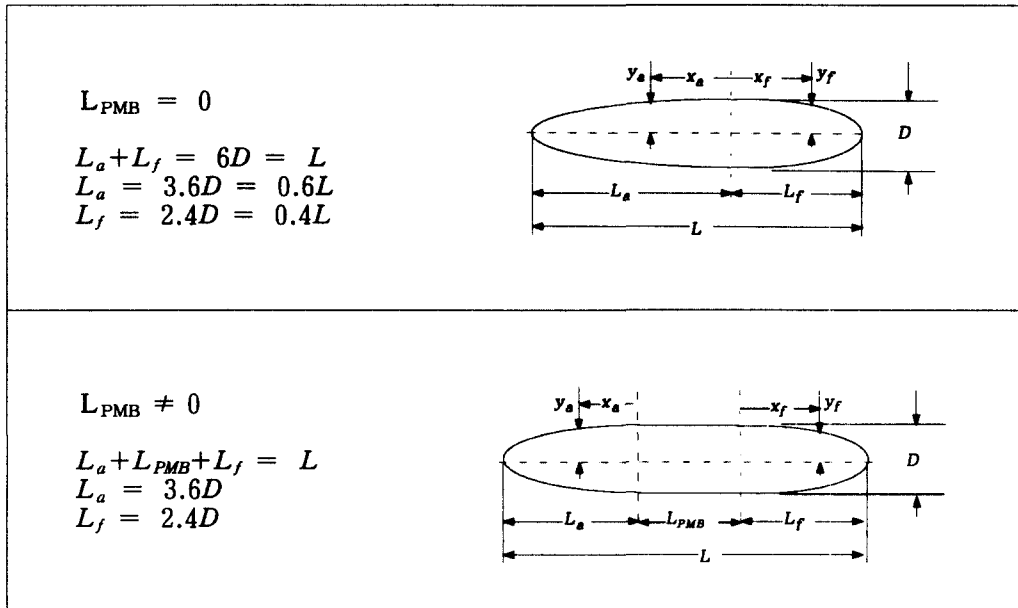


Fig.1 Geometry of a underwater vehicle

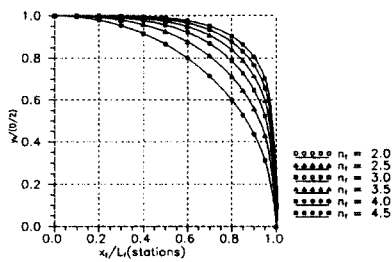


Fig.2 Entrance Offsets(Equation(1))

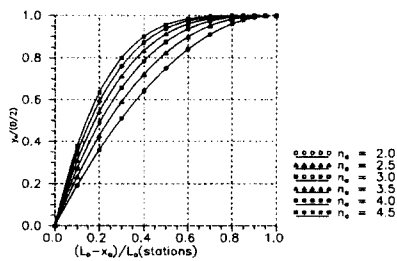


Fig.3 Run Offsets(Equation(2))

최근 CAD/CAM 응용분야에서 곡선을 표현하기 위하여 Rational다항함수가 사용되고 있으며, 특히 NURBS곡선은 상용 시스템의 모델링에서 수학적 기

초가 되고 있다[6][7][8][9].

NURBS곡선은 “Nonuniform Rational B-spline Curve”의 약어로써 “Nonuniform”에서 노트벡터를 균일하게 정할 필요가 없으며, “Rational”에서 조정점의 이동 뿐만아니라 가중치의 변화에 의해 조정점의 비중을 다르게 배분함으로써 형상을 변화시킬 수 있다는 특성을 갖는다. 그러므로 NURBS곡선은 자유형상인 선형표현에 B-spline곡선보다 더 포괄적으로 사용될 수 있다.

NURBS곡선의 정의에는 가중치와 동차좌표(homogeneous coordinate)의 개념이 사용된다. 즉, $P = \{x, y, z\}$ 가 3차원 실수공간 R^3 상의 점이라면, 이들 점에 대응하는 4차원 실수공간 R^4 상의 점은 식(3)과 같이 표현된다.

$$\bar{P} = \{hx, hy, hz, h\}, \quad h > 0 \quad (3)$$

이때 h 는 가중치이며, 식(3)과 같은 형태를 동차좌표라고 한다. 이것은 3차원상의 점열을 4차원상의 점열에 사상(mapping)한 것으로, 가중치는 이러한 투영공간을 조절하는 의미로 해석할 수 있다.

B-spline곡선식에 동차좌표를 이용하면 Rational B-spline 곡선식을 유도할 수 있다.

즉, R^3 공간상의 조정점 Q_i 에 대응하는 R^4 공간

상의 조정점 $\bar{Q}_i = \{h_i, Q_i, h_i\}$ 를 근사하는 R^4 공간상의 B-spline곡선식 $\bar{P}(t)$ 는 식(4)와 같게 된다.

$$\bar{P}(t) = \sum_{i=0}^n \bar{Q}_i \cdot N_i^k(t) \quad (4)$$

곡선식 $\bar{P}(t)$ 를 구성하는 R^4 공간상의 점들은 동차좌표 내의 처음 세개의 좌표에 대응하는 가중치로 나눔으로써, R^3 공간상으로 투영시킬 수 있다.

이때 투영된 곡선식 $P(t)$ 를 Rational B-spline 곡선식이라고 하며, 식(5)와 같이 표현된다.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i Q_i N_i^k(t)}{\sum_{i=0}^n h_i N_i^k(t)} \quad (5)$$

$$= \sum_{i=0}^n Q_i R_i^k(t)$$

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

여기서 $R_i^k(t)$ 는 Rational B-spline의 기본함수(Basis function)이며, $N_i^k(t)$ 는 재귀적으로 식(6)과 같이 정의된 정규화된 degree k 의 B-spline 기본함수이다.

$$N_i^0(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq t < t_{i+1}, t_i < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_i^k(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+k}-t_i} N_i^{k-1}(t) + \frac{t_{i+k+1}-t}{t_{i+k+1}-t_{i+1}} N_{i+1}^{k-1}(t) \quad (6)$$

이때 t_i 는 노트벡터(knot vector)를 형성하는 노트들(knots)이다. 그리고 곡선의 노트벡터가 불균일한 경우[10][11] NURBS(Nonuniform Rational B-spline)곡선으로 된다. 식(5)는 모든 가중치가 "1"일때, Nonrational B-spline곡선식이 된다.

이것은 $N_i^k(t)$ 가 $\sum_{i=0}^n N_i^k(t) = 1$ 을 만족하기 때문이다.

4. B-spline근사법

근사법(Approximation)은 주어진 데이터를 통과하거나 근사적으로 지나게 되는 매끄러운 곡선을 생성하는 방법으로, 주어진 데이터를 지나지 않을 수 있다는 단점이 있는 반면에 주어진 모든 데이터를 통과할 때 나타날 수 있는 곡선상의 혹이나 C^1 급 또는 C^2 급 불연속성을 제거할 수 있는 장점을 갖는다.

본 연구에서는 B-spline곡선의 역변환을 통해 주어진 데이터들을 근사적으로 지나는 조정점을 생성하여, 이를 NURBS곡선으로 표현하는 방법을 사용하였다[8][9][10][11].

5. 선형생성 알고리즘

Fig.4는 수중운동체의 주요치수로부터 NURBS곡선에 의해 선형을 수학적으로 정의하고, 이를 변형하는 흐름도를 나타낸다.

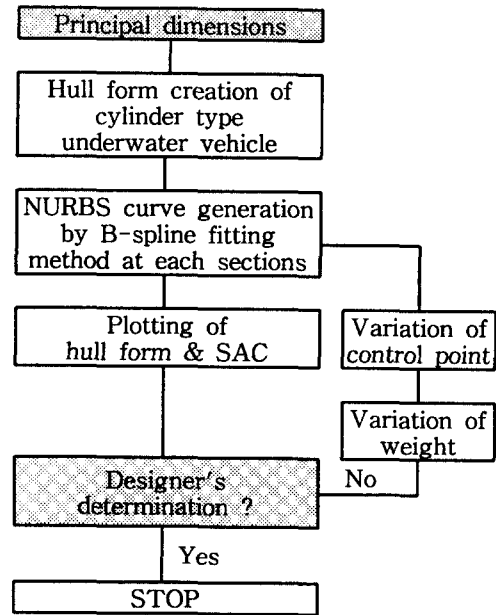


Fig. 4 Flow chart of hull form creation

6. 적용에 및 비교 · 검증

본 연구에서는 NURBS곡선의 형상변환기법 중에서 조정점의 이동과 가중치의 변화에 의한 방법 [8][9][12]을 사용하여 선형변환을 수행했으며, 변형된 선형결과는 SAC 및 선형의 정면도, 측면도의 시각화를 통해 비교·검토하였다.

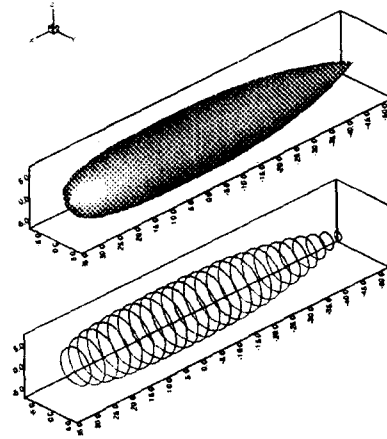
Fig.5는 주요치수와 entrance 및 run계수가 $L=80m$, $PMB=0m$, $n_a=2.5$, $n_f=3.0$ 일 때 실린더형 수중운동체의 선형 및 SAC의 결과를 나타낸 것이고, Fig.6은 주요치수와 entrance 및 run계수가 $L=80m$, $PMB=20m$, $n_a=2.5$, $n_f=2.0$ 일 때 실린더형 수중운동체의 선형 및 SAC의 결과를 나타낸 것이다. 그리고 Fig.7은 Fig.6에서 도출된 Offset을 B-spline근사법에 의해 NURBS곡선으로 표현한 것이다.

Fig.8은 조정점과 가중치를 각각 변화시켰을 때의 결과를 보이기 위해 임의의 조정점과 가중치를 설정하여 선형을 변화시킨 예를 나타낸다. Fig.8(a)은 각 단면을 아래에서 4번째 점을 x 방향으로 0.1씩 감소시키고, 5번째 점을 xy 방향으로 각각 0.2씩 증가시켰을 경우 선형의 변형결과를 나타내고, Fig.8(b)는 각 단면에서 4번째 점의 가중치를 0.5, 나머지 가중치를 2.0으로 주었을 경우 선형의 변형결과를 나타낸다.

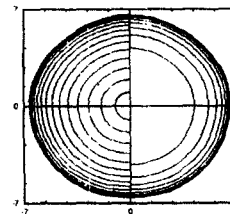
Fig.9는 각 단면이 다른 형상을 가질 경우 조정점과 가중치를 동시에 변화시켜 선형과 SAC의 결과를 나타낸 것이며, Fig.10은 Fig.6과 Fig.9의 결과를 비교한 것이다. 그리고 Fig.11은 각 단면에 대해 다중 조정점을 부여함으로써 임의의 형상을 나타낸 것이다.

Fig.9와 Fig.11의 결과는 수식으로 표현될 수 있는 실린더형 수중운동체의 선형으로부터 NURBS곡선의 가중치와 조정점에 의한 국부적 특성을 이용하여 주어진 설계조건을 만족하는 임의의 형상을 가진 수중운동체의 선형정의가 유연하게 적용됨을 보이고 있으며, 이는 구조역학적·유체역학적 측면에서의 공간결정이 일차적으로 끝난 후 혹은 피이드 백에 의한 형상수정 요구시에 효율적으로 부응할 수 있음을 나타낸다.

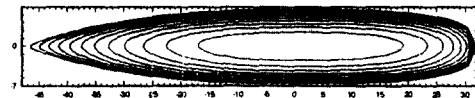
따라서 조정점 이동의 영향, 가중치 변화의 영향과 그것들의 복합적인 영향 등을 고려함으로써 형상수정을 이용한 설계방법이 가능함을 나타내 주고 있다.



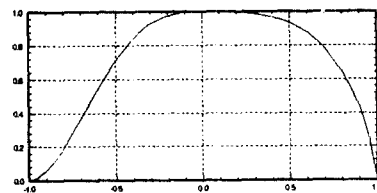
(a) Hull form in 3 dimension



(b) Body plan

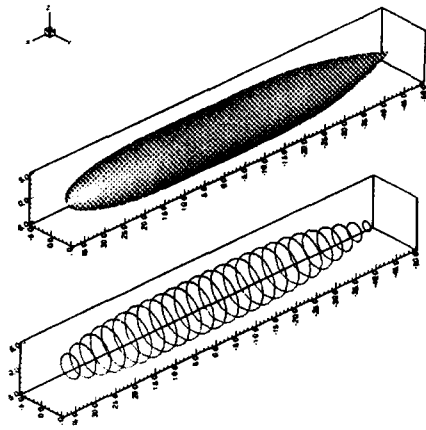


(c) Profile plan

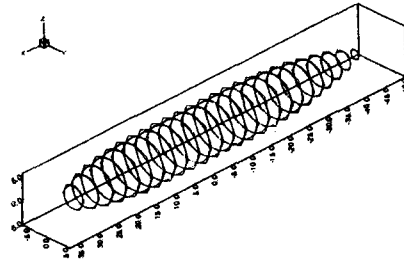


(d) SAC

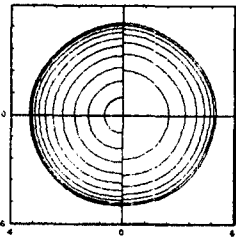
Fig.5 Cylinder type underwater vehicle ($L_{PMB}=0$)



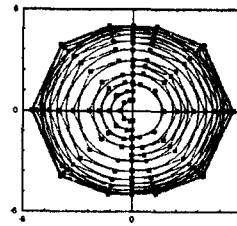
(a) Hull form in 3 dimension



(a) Hull form in 3 dimension

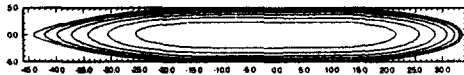


(b) Body plan

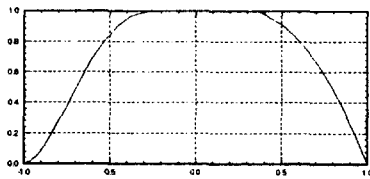


(b) Body plan

Fig. 7 Creation of control points by B-spline fitting method

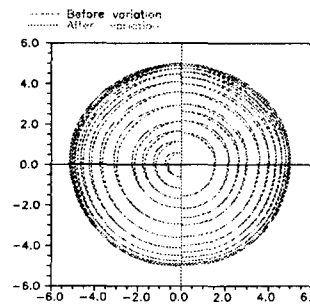
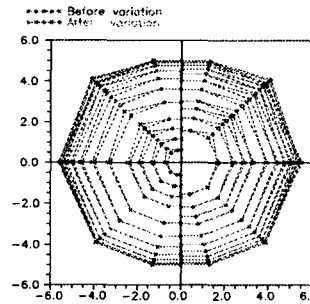


(c) Profile plan

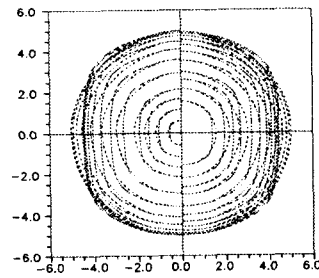
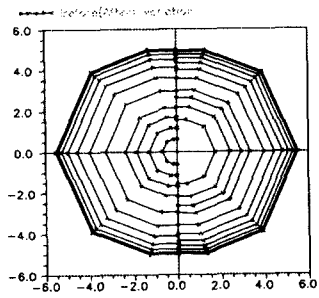


(d) SAC

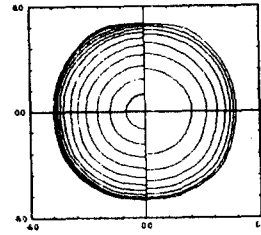
Fig.6 Cylinder type underwater vehicle ($L_{PMB} \neq 0$)



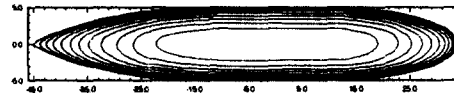
(a) Variation of control point



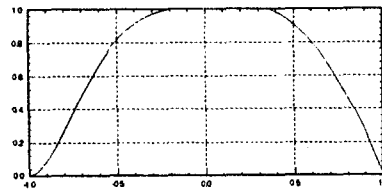
(b) Variation of weight
Fig. 8 Effects by variation of control point & weight



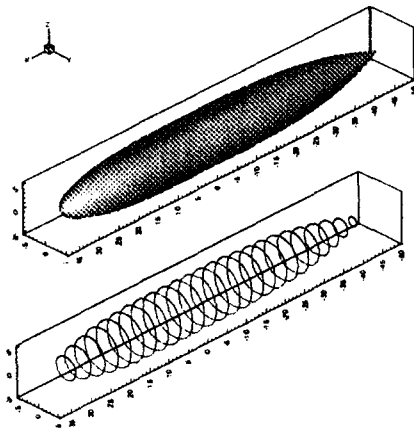
(b) Body plan



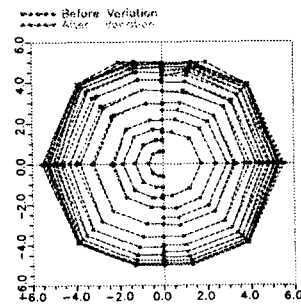
(c) Profile plan



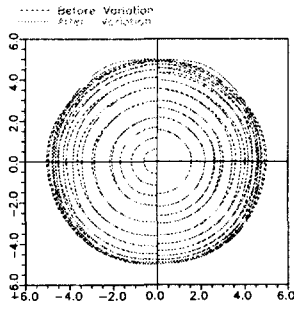
(d) SAC
Fig. 9 Generation of hull form & SAC by variation of control point & weight



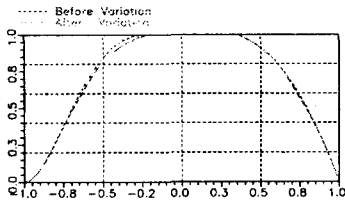
(a) Hull form in 3 dimension



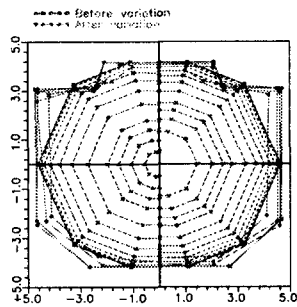
(a) Comparison of control points



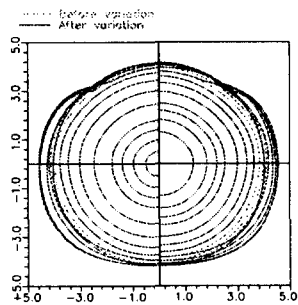
(b) Comparison of body plan



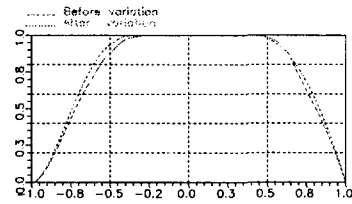
(c) Comparison of SAC
Fig. 10 Comparison of Fig. 6 and Fig. 9



(a) Comparison of control points



(b) Comparison of body plan



(c) Comparison of SAC
Fig.11 Comparison of Cylinder type and Hull form by multiple control points

7. 결 론

이상의 연구내용을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 초기설계시에 주요치수로 부터 타원과 포물선의 변형식을 사용하여 실린더형 수중운동체의 선형을 신속하게 도출할 수 있다.
2. 실린더형 수중운동체의 선형생성방법과 NURBS 곡선식을 이용하여 설계조건을 만족하는 임의 단면의 수중운동체의 선형설계가 가능하다.
3. 수중운동체의 payload, 예비 부력의 크기, 유체 역학적·구조역학적 요구에 따른 외형 등의 제한 조건에 따라 구나 실린더형으로 표현될 수 없을 경우에도 NURBS곡선표현에 의한 수중운동체의 형상정의와 변환은 효율적이다.

참 고 문 헌

[1] 池田玉治, “潜水船”, 日本造船學會誌 第603號, 1979, 9.
 [2] 김현철 외, “潜水艇의 開發 研究 總括”, 한국기 계연구소, 1987. 3.
 [3] H. A. Jackson, “Fundamentals of Submarine Concept Design”, SNAME Transactions, Vol. 100, pp. 419-448, 1992
 [4] E. S. Arentzen, Philip Mandel, “Naval Architectural Aspects of Submarine Design” Trans. Soc. of Naval Archit. & Marine Engrs., Vol. 68, pp. 622-692, 1960
 [5] V. L Russo, H. Turner, F. W. Wood, “Submarine Tankers.” Trans. Soc. of Naval Archit. & Marine Engrs., Vol. 68,

- pp. 693-742, 1960
- [6] Leslie Piegl and Wayne Tiller, "Curve and surface constructions using rational B-splines", *Computer Aided Design*, Vol. 19, No. 9, 1987
- [7] L. Piegl, "On NURBS : A survey", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 11, No. 1, pp. 55-71, 1991
- [8] 김수영, 정성재, 김현철, 이길홍, "NURBS를 이용한 Bulbous Bow선의 선수부 형상의 수치적 표현", '93 CSDP 연구보고서, 1994
- [9] 이상찬, "자동차 외형설계를 위한 CAD 시스템의 개발", 서울대학교 기계설계학과, 박사학위 논문, 1992
- [10] David F. Rogers and Alan Adams "Mathematical Elements for Computer Graphics", McGraw-Hill Press, second edition, 1990
- [11] Gerald Farin "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design : A Practical Guide", Academic Press, New York, second edition, 1988
- [12] L. Piegl, "Modifying the Shape of Rational B-spline. Part I : Curves", *Computer Aided Design*, Vol. 21, No. 8, pp. 509-518, 1989