
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 32 卷 第 3 號 1995年 8月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 32, No. 3, August 1995

횡단면적 곡선과 NURBS곡선을 이용한 선형변환

김현철*, 김수영**, 안 당***, 하문근***

Variation of the Hull Form using SAC and NURBS Curve

by

Hyun Cheol Kim*, Soo Young Kim**, Dang Ahn*** and Mun Keun Ha***

요 약

본 연구는 선정된 기준선을 횡단면적 곡선(Sectional Area Curve:SAC)과 NURBS곡선을 사용하여 변환하는 기법을 내용으로 하고 있다. 즉, 선정된 기준선의 광역(global) 선형변환은 횡단면적 곡선의 기하학적 특성을 변형시켜 체계적으로 수행하고, 국소(local) 선형변환은 가중치의 증감과 조정점 이동 등을 통한 NURBS기법을 사용하였으며, 설계자는 이들 변환된 선형의 최종 횡단면적 곡선과 반폭도에서 기본적인 설계요구조건에 만족여부를 검토하게 된다.

Abstract

This paper presents a variation method of the parent ship using sectional area curve & the definition of NURBS curve. That is, global variation of the hull form is made systematically by the geometrical property of sectional area curve, and Local variation of the hull form is executed by the definition of NURBS curve. Then the designer may determine New hull form considering New sectional area curve, design condition, etc.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회('94. 11. 12.)

접수일자 : 1995년 2월 2일, 재접수일자 : 1995년 7월 11일

* 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

** 정회원, 부산대학교 조선해양공학과/기계기술연구소

*** 정회원, 삼성중공업 조선해양사업본부 거제연구소

1. 서론

초기 선형설계의 전산화는 후속되는 상세설계와 생산설계의 전산작업을 위한 정보를 신속하고 정확하게 제공함으로써 소요시간 단축과 생산성, 정확성, 다양성, 다목적성 등의 향상에 기여하게 되며, 더 좋은 설계안을 빠른 시일 내에 결정할 수 있게 하여 설계의 품질과 생산성을 높인다. 일반적으로 전산기를 이용한 초기 선형설계 방법은

- (1) 표준계열(standard series) 선형을 보간하는 방법
- (2) 기준선을 체계적으로 변형시키는 방법
- (3) 형상계수를 조합하여 선형을 표현하는 방법 등이 있다.

이들 초기 선형설계 방법 중에서 기준선을 체계적으로 변형시켜 새로운 선형을 생성하는 (2)의 방법은 우수한 유사 실적선의 자료가 토대될 경우 매우 효율적인데, Lackenby[1], Vershuis[2], Alef & Collatz[3] 등에 의한 주요 연구가 있다. 그러나 횡단면적의 기하학적인 특성 - 주형계수, 부심위치, 중앙 평행부의 길이 등 - 을 변화시켜 새로운 선형을 얻는 이 방법은 선수미부와 같이 형상의 변화가 심한 부분에서는 변환이 제대로 수행되지 않는 점에서 보완의 필요가 있다.

본 연구에서는 Lackenby[1]의 방법을 토대로 광역선형변환을 시도하고, 국소선형변환은 가중치 증감과 조정점 이동 및 노트벡터 삽입에 의한 NURBS기법으로 수행코자 한다.

2. 횡단면적 곡선의 변화에 의한 선형 변환

횡단면적 곡선의 기하학적인 형상을 결정하는 parameter - C_p , LCB , L_{pa} , L_{pf} 등 - 들을 독립적으로 변환시킴으로써 광역선형변환을 수행할 수 있다[1][4][5]. Fig.1은 횡단면적 곡선의 변형을 나타내는데, 실선으로 연결되는 ABC는 기준선형의 C_p 곡선을 나타내고, 점선으로 연결되는 ABC는 변환된 선형의 C_p 곡선을 나타낸다. 그러나 이 방법은 횡단면적 곡선의 기하학적 특성만을 변환하여 새로운 선형을 도출하므로, 선수미부 형상과 같이 곡률이 심한 부분의 형상변화에 어려움이 있다. 따라서 선수미부

와 중앙평행부를 제외한 부분의 형상변형은 처리가 분명하고 쉽게 되므로 광역선형변형은 Lackenby[1]의 방법을 토대로 하였다.

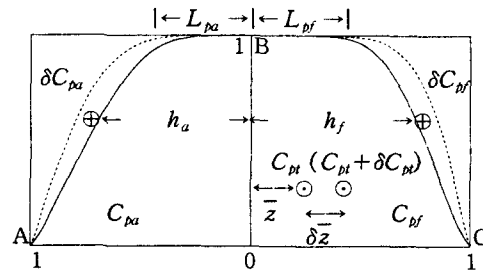


Fig.1 Geometry of SAC

3. NURBS곡선의 정의에 의한 선형 변환

NURBS곡선식 $P(t)$ 는 식(1)과 같다.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i Q_i N_i^k(t)}{\sum_{i=0}^n h_i N_i^k(t)} = \sum_{i=0}^n Q_i R_i^k(t) \tag{1}$$

Q_i : $n+1$ 개로 정의한 조정점의 3차원 공간상의 위치벡터

$N_i^k(t)$: B-Spline기저함수

t : $t \in [a, b]$, $0 \leq a < b$ 를 만족하는 곡선의 매개변수

k : B-Spline함수 $N_i^k(t)$ 의 차수(Degree)

p : B-Spline함수 $N_i^k(t)$ 의 오더(Order) (= $k+1$)

$n+1$: 다각형 정점의 수

$R_i^k(t)$: Rational B-spline기저함수

NURBS곡선의 정의에 의해 형상을 변화시키는 방법은 다음과 같다[6~10].

- (1) 차수를 증가시키는 방법
- (2) 절점벡터의 노트값을 조정하는 방법
- (3) 조정점을 조정하는 방법
- (4) 가중치를 변화시키는 방법

여기서 곡선의 연결 부분은 공학적으로 문제가 없는 C^2 급 연속성을 만족하면 된다. 따라서 본 연구에서도 오더 4(차수 3)로 고정하여 NURBS곡선을 표현한다. 그리고 절점벡터의 유형에 따른 곡선변화를 설계자가 예측하기가 어려우므로, 일반적으로 (3)과 (4)의 방법을 중심으로 곡소변화를 시도한다. 또한 (3)이나 (4)의 방법에 의해 곡선제어가 불리한 경우에는 곡선형상을 변화시키지 않고 원하는 부분에 조정점을 생성하는 노트삽입 알고리즘[9][10]을 이용한다.

3.1 가중치에 의한 선형 변환

Fig.2는 식(2)로 주어지는 NURBS곡선으로, 고정된 매개변수 $t \in [t_i, t_{i+k+1}]$ 에 대한 세 곡선상의 점 P, M, P_i 는 식(2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} P &= Q(t; h_i = 0) \\ M &= Q(t; h_i = 1) \\ P_i &= Q(t; h_i \in [0, 1]) \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 이들 간의 관계는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} M &= (1-u)P + uQ_i \\ P_i &= (1-v)P + uQ_i \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$$\begin{aligned} u &= \frac{N_i^k(t)}{\sum_{i+j=0}^n h_j N_j^k(t) + N_i^k(t)} \\ v &= \frac{h_i N_i^k(t)}{\sum_{j=0}^n h_j N_j^k(t)} = R_i^k(t) \end{aligned}$$

이때 내점 Q_i, M, P_i, P 의 교차율(cross ratio)은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} C_r(Q_i, M, P_i, P) &= Q_i M / MP : Q_i P_i / P_i P \\ &= (1-u)/u : (1-v)/v = h_i \end{aligned}$$

가중치를 변경할 조정점 Q_i 가 정해지면 곡선상의 점 P_i 를 계산하여 이동거리 d 를 정하고, $|P_i - \bar{P}_i| = d$ 인 점 \bar{P}_i 를 Q_i 와 P_i 를 잇는 직선 상에서 구한다. 교차율의 정의를 이용하여 점 \bar{P}_i 를

통과하는 곡선의 조정점 Q_i 의 가중치는 식(4)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{h}_i &= \frac{(1-u)}{u} : \frac{(1-v)}{v} \\ &= \frac{Q_i M}{MP} : \frac{Q_i \bar{P}_i}{P \bar{P}_i} \\ &= \frac{Q_i M}{MP} : \frac{Q_i \bar{P}_i + d}{P \bar{P}_i \pm d} \end{aligned}$$

$$\bar{h}_i = h_i \left[1 \pm \frac{d}{R_i^k(t) (Q_i P_i - d)} \right] \quad (4)$$

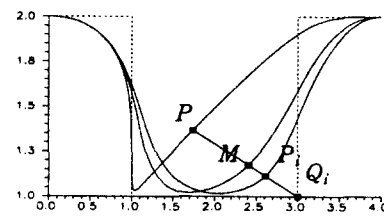


Fig.2 Definition of points for a fixed parameter t

3.2 조정점에 의한 선형 변환

Fig.3과 같이 곡선상에서 매개변수 t 에 대응하는 곡선상의 점 P 를 방향벡터 \mathbf{v} 로 이동거리 d 만큼 이동하고자 할 때, 변환된 곡선의 조정점 \bar{Q}_i 는 Q_i 로부터 \mathbf{v} 방향으로 이동하여 \bar{P} 를 통과할 수 있도록 정해진다. 주어진 곡선을 $P(t)$, 수정된 곡선을 $\bar{P}(t)$ 라고 하면 매개변수 t 에서 식(5)가 성립한다.

$$\begin{aligned} \bar{P}(t) &= Q_0 R_0^k(t) + \dots + (Q_i + a \mathbf{v}) R_i^k(t) + \dots + Q_n R_n^k(t) \\ |\bar{P} - P| &= |\bar{P}(t) - P(t)| = d = a |\mathbf{v}| R_i^k(t) \end{aligned} \quad (5)$$

따라서 새로운 조정점은 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{Q}_i = Q_i + a \mathbf{v}, \quad a = \frac{d}{|\mathbf{v}| R_i^k(t)} \quad (6)$$

상기의 방법은 설계자가 방향벡터를 설정하는 것이 어려우므로, 이동할 조정점과 곡선상의 점을 선택하면 이들 간의 거리로부터 방향벡터를 자동결정할 수 있도록 하였다.

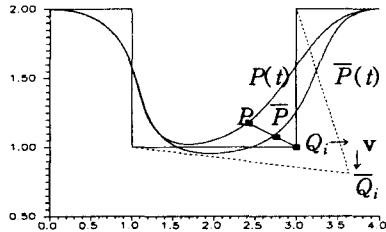


Fig.3 Modification of a curve by moving a control point

4. 선형변환 흐름도

기준선의 체계적인 변환에 대한 흐름도는 Fig.4와 같이 먼저 횡단면적 곡선으로 선형을 광역변환시킨 뒤, NURBS기법을 사용하여 국소변환을 수행한다.

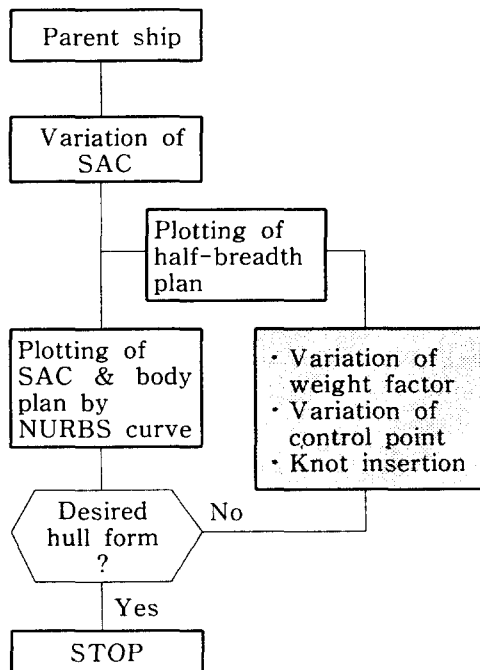


Fig.4 Flowchart of the hull form variation

5. 적용에 및 결과분석

본 연구의 실용성 확인을 위해 :

$$L = 220.00m, B = 32.20m,$$

$$Draft = 11.00m, C_b = 0.84$$

인 선형을 선정하여 횡단면적 곡선에 의한 광역변환과 NURBS기법에 의한 국소변환을 수행했다. 여기서 선정된 선형은 $C_b = 0.84$ 인 비대선형으로 Lackenby[1]방법에 의한 선형변환시 선수미부의 변환이 특히 어려운 경우에 해당된다. Fig.5~8는 횡단면적 곡선의 형상을 결정하는 parameter - 방향계수, 부심위치, 중앙평행부의 길이 - 를 각각 독립적으로 변화시켜 횡단면적곡선 및 선형을 광역변환시킨 결과를 나타내고 있다. Fig.5는 C_b 값을 ± 0.02 변화시킨 경우, Fig.6은 LCB 값을 ± 0.01 변화시킨 경우, Fig.7은 L_{pa}, L_{pf} 값을 각각 $+0.2$ 를 변화시킨 경우, Fig.8은 $C_b = +0.01, LCB = +0.01, L_{pa} = +0.1$ 를 변화시킨 경우 횡단면적 곡선과 선형의 변화를 나타낸다.

Fig.9(a)는 선수부에서 국소변형을 수행할 단면을 선택하여 NURBS곡선으로 표현한 것이며, Fig.9(b)는 설계자가 단면상의 점을 선택하였을 때 그 점이 변화될 수 있는 방향을 직선으로 나타낸 것이다. 여기서 '+'는 변화시킬 점의 위치를 나타낸다. Fig.9(c)와 (d)는 설계자가 선택한 점(+)을 지나도록 각각 조정점 및 가중치에 의해 표현된 결과를 나타낸다.

설계자가 선택한 점(+)을 지나도록 두번째 조정점의 가중치가 '1' → '1.7'로 변화되었고, 두번째 조정점의 위치는 (6.01, 0.792) → (6.87, 0.16)으로 이동했다. Fig.9(e)와 (f)는 정면도에서 임의 단면의 국소변화에 따른 횡단면적 곡선과 반폭도를 보간하여 나타낸 것이다. Fig.10(a), (b), (c), (d)는 선미부에서 임의의 단면을 선정하여 Fig.9의 과정을 수행한 것이다. 즉, 설계자가 선택한 점(+)을 지나도록 네번째 조정점의 가중치가 '1' → '0.6'으로 변화되었고, 네번째 조정점의 위치는 (-4.14, 7.53) → (-4.22, 6.93)으로 이동했다. Fig.10(e)와 (f)는 정면도에서 임의 단면의 국소변화에 따른 횡단면적 곡선과 반폭도를 보간하여 나타낸 것이다.

NURBS곡선에 의해 표현된 정면도 상의 임의 단면에 대한 국소변환은 동시에 횡단면적 곡선과 반폭도를 생성함으로써 설계자로 하여금 선형변환의 만

족여부를 결정할 수 있게 한다. 또한 형상변화가 심하거나 국소변형의 범위를 줄이고자 할 경우 노트삽입에 의해 원하는 부분의 조정점을 생기게 하여 국소변형성을 증가시킬 수 있다. Fig.11은 선형의 제어가 불리한 경우 노트삽입에 의해 곡선형상을 변화시키지 않고 원하는 조정점을 생성함을 보인다. 여기서 '+'는 설계자가 선정한 조정점의 위치이다.

Fig.5~8에 나타난 횡단면적 곡선 변화 및 이에 의한 선형변환의 결과는 선형의 퇴화없이 광역변환이 수행될 수 있음을 나타내고 있다. Fig.5~8에서 보이는 변환되지 않는 선형은 Fig.9(c)와 (d) 및 Fig.10(c)와 (d)에서와 같이 NURBS기법을 이용하여 국부적으로 변형될 수 있었다. 또한 Fig.11과 같은 노트삽입을 적용하여 국소변형의 유연성을 보다 효율적으로 제어할 수 있을 것이다. 이때 새롭게 변형되는 선수미부의 형상에 대한 기하학적 채택여부는 두가지 큰 기준으로 결정할 수 있을 것이다. 첫 번째 기준으로 생각할 수 있는 것은 반폭도의 시각적 검토와 유선에 따른 선수미부의 곡률 검토 등이 있고, 두번째 기준으로는 유체역학적 기준을 생각할 수 있다.

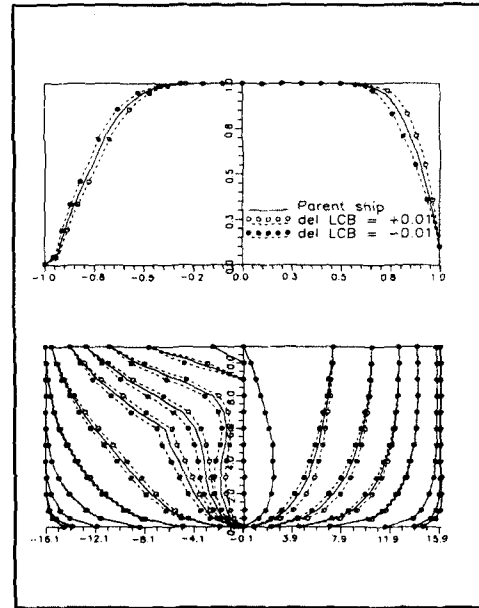


Fig.6 Representation of ship form by variation of LCB

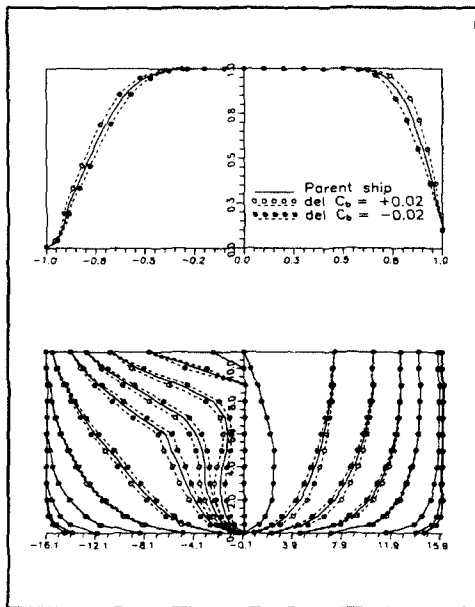


Fig.5 Representation of ship form by variation of C_b

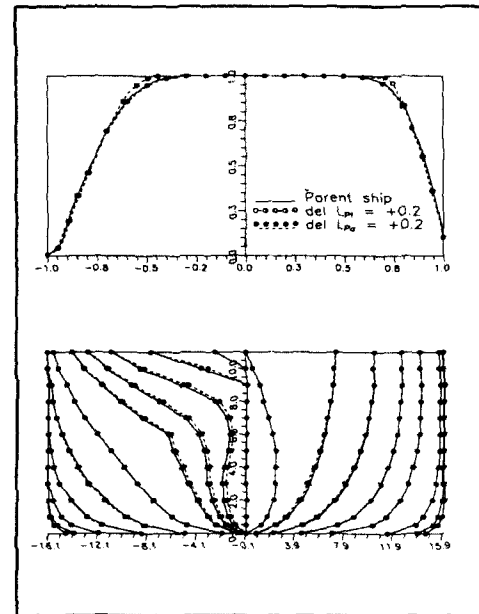


Fig.7 Representation of ship form by variation of L_{pa}, L_{pf}

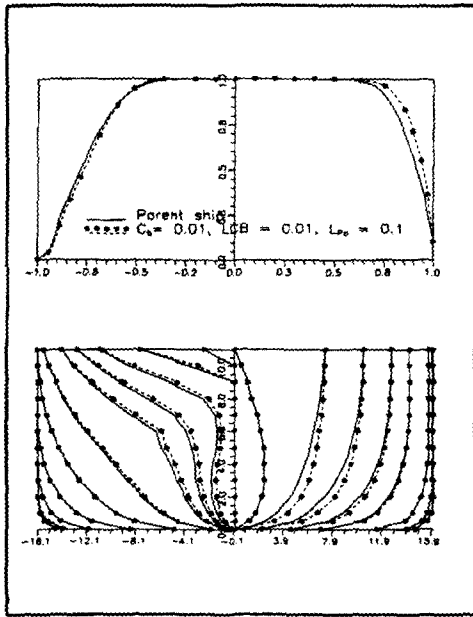
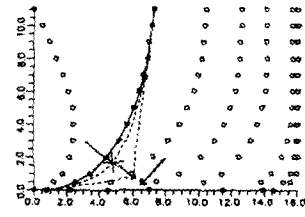
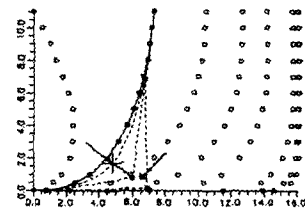


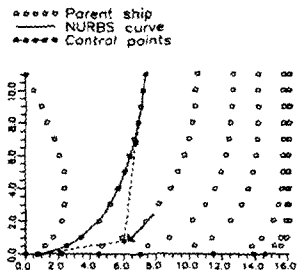
Fig.8 Representation of ship form by variation of C_b , LCB , L_{pa}



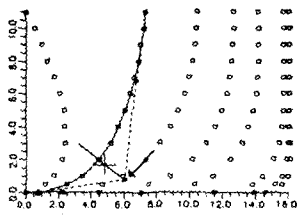
(c) Body plan



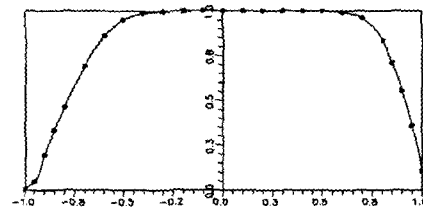
(d) Body plan



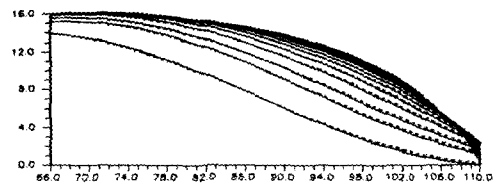
(a) Body plan



(b) Body plan

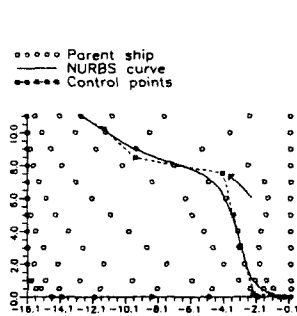


(e) Sectional Area Curve

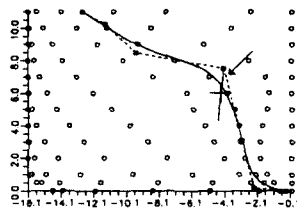


(f) Half breadth plan

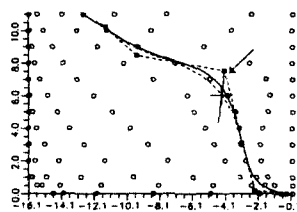
Fig.9 NURBS representation and examples of use of pull effects in selected section (Stem part)



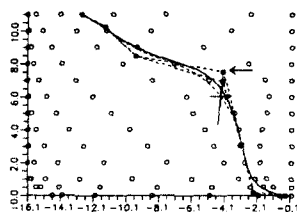
(a) Body plan



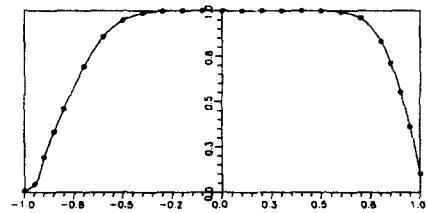
(b) Body plan



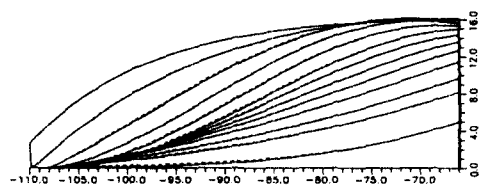
(c) Body plan



(d) Body plan



(e) Sectional Area Curve



(f) Half breadth plan

Fig.10 NURBS representation and examples of use of pull effects in selected section (Stern part)

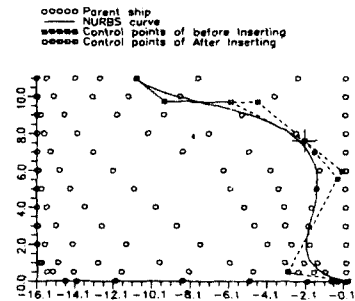
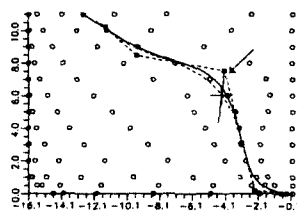


Fig.11 New control point creation by knot insertion

6. 결론

이상의 연구내용을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.
기준선의 체계적인 변환을 통한 초기선형설계에서 :

선형의 광역변환은 횡단면적 곡선의 기하학적 변화를 통해 처리하고, 이렇게 얻어진 각각의 선형들에 대해 선수미분과 같이 만곡부의 변화가 심한 부위의 국소변환은 NURBS기법을 사용하여 처리할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H.Lackenby, "On Systematic Geometric Variation of Ship Forms", Transactions INA, Vol.92, pp.289-316, 1950.
- [2] Versluis, "Computer Aided Design of Ship Form by Affine Transformations", International Shipbuilding progress, Vol.24(274), pp.147-160, 1977.
- [3] W.E.Alef & G.Collatz, "Computer Aided Design of Ship's Lines by Nonlinear Distortion of Parent Forms", ICCAS'76, pp.157-163, 1976.
- [4] 김수영, 강사원, 우일국, "선형의 변환기법에 관한 연구". 부산대학교 공과대학 연구보고 제40집, pp.121-129, 1990.
- [5] 김현철, "SAC와 NURBS곡선을 이용한 초기 선형생성에 관한 연구", 부산대학교 석사학위논문, 1995
- [6] Gerald Farin "Curve and Surface for Computer Aided Geometric Design", second edition, 1990.
- [7] L.Piegl, "On NURBS : A survey", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.11, No.1, pp.55-71, 1991.
- [8] L.Piegl and W.Tiller, "Curve and Surface Contructions using Rational B-spline", Computer Aided Design, Vol.19, No.9, pp 485-498, 1987.
- [9] L.Piegl, "Modifying the shape of rational B-spline. Part I : Curves", Computer Aided Design, Vol.21, No.8, pp.509-518, 1989.
- [10] L.Piegl, "Modifying the shape of rational B-spline. Part II : Surfaces", Computer Aided Design, Vol.21, No.9, pp.539-546, 1989.