

점성저항을 고려한 선형의 초기설계에 관한 연구

김경모* · 이경도** · 김시영*

*부경대학교 대학원, **부산대학교 대학원, *부경대학교 제어기계공학과

A Study on the Preliminary Design of Hull Form considering Viscous Resistance

KYUNG MO KIM*, KYOUNG DO LEE** AND SI YOUNG KIM*

*Department of Control & Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

**Graduate school, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

KEY WORDS: Hull form 선형, Gregory surface 그레고리 곡면, Form parameter 형상계수, Viscous resistance 점성저항

ABSTRACT: To determine a preliminary hull form with a minimum viscous resistance, this study considers the systematic variations of hull form and calculations of the viscous resistance for varied hull forms. A preliminary hull form can be determined from a parametric study of viscous resistance.

1. 서 론

실선의 선형설계시에는 선형의 수학적 정의와 함께 정의된 선소변형시켜 새로운 요구조건을 충족시킴으로써 설계자가 원하는 형상을 지니는 선형을 결정하게 된다. 본 연구에서는 이렇게 도출된 선형에 대해서는 선박설계시 고려해야할 많은 비교기준들 가운데 우선 저항성능(Havelock, 1951)을 선택하여 저항성능면에서 최적의 선형도출을 시도해 보고 그 결과를 분석 정리하여 본 연구에서 제안한 방법들이 선박설계의 보조수단이 될 가능성을 검토한다.

저항계산은 potential 계산(Kim and lewkowicz, 1991; Hess and Smith, 1962)을 수행한 후, 점성저항을 계산하는 과정으로 이루어지고, 최소저항 선형은 parametric study를 통해 찾게 된다.

2. 선형정의 및 변환

2.1 선형의 수학적 정의

3차원 자유 형상인 선형을 보다 정확하게 표현하기 위해서 선수미의 곡률의 변화가 심한 부분에서의 곡면 patch도 다룰 수 있는 Gregory 곡면 기법(Toriya and Chiyokura, 1993)을 사용한다.

2.1.1 Gregory 곡면의 구성

Gregory 곡면은 조정점 V_{ij} 와 기저 함수 $B_i^3(u)$ 와 $B_j^3(v)$ 및 경계 곡선을 결정하는 12개의 경계 조정점(boundary control points)과 곡면의 내부 형상을 결정짓는 8개의 Gregory point로 구성된다. 내부 조정점들은 이 Gregory point에 의해 매개 변수에 따라 연동되어 변화한다. Gregory point는 V_{ij}^+ , V_{ij}^- ($i, j = 1, 2$)로 표시하며 내부의 조정점은 V_{ij} ($i, j = 1, 2$)이다. Gregory 곡면식

은 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 B_i^3(u) V_{ij}(u, v) B_j^3(v) \quad (0 \leq u, v \leq 1) \quad (2.1)$$

여기서, $B_i^3(u)$ 과 $B_j^3(v)$ 는 Bernstein 다항식(Choi, 1991; Farin, 1990)이다.

2.1.2 Gregory 곡면의 특징

Fig. 1로 표현되는 Gregory 곡면의 특징은 다음과 같다.

- ① Gregory 곡면의 4개의 경계 곡선들로 구성되며, 경계 곡선은 3차의 Bézier 곡선이다.
- ② Gregory 곡면은 곡면 상의 임의의 점이 그 곡면을 정의하는 조정점들(control point)로 형성되는 convex hull 내에 항상 존재하게 되는 convex hull property를 가진다.
- ③ 내부 Gregory point가 $V_{ij}^+ = V_{ij}^-$ 이면 양3차 Bézier 곡면이 된다 ($i, j = 1, 2$).

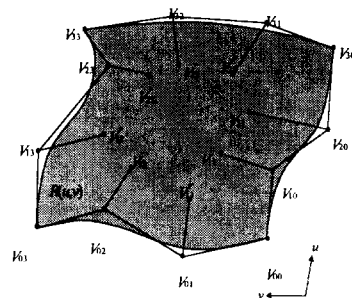


Fig. 1 Gregory surface

④ 교차 접선 벡터는 각각의 경계곡선과 독립적으로 정의될 수 있다. 이때 $u=0$ 이면 교차 접선 벡터는 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial u} R(u, v)|_{u=0} = 3 \sum_{i=0}^2 (V_{1,i} - V_{0,i}) B_i^3(v)$$

2.1.3 다양한 위상의 곡면 patch 생성

Gregory 곡면 기법의 장점은 무엇보다도 다양한 위상의 곡면 patch의 표현이 가능하다는 것이다.

곡선망이 사각형 이외의 patch(삼각형, 오각형)를 생성한 경우, 이들은 Fig. 2처럼 사각형 patch로 분할된다.

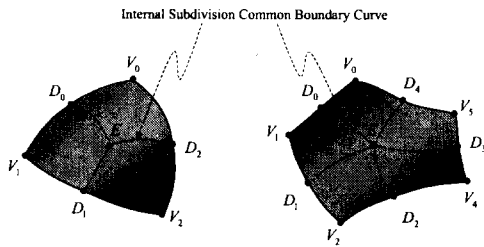


Fig. 2 n-side Gregory surface

3차 Bézier 곡선으로 경계곡선이 구성될 때 각 경계곡선을 분할하는 내분점 D_i 에서 교차 접선 벡터를 결정하여 중앙점 E 를 결정한다. 곡면을 분할하는 내부 분할 공통 경계곡선(internal subdivision common boundary curve)을 결정하여 n-side의 위상을 갖는 다각형 곡면을 n개의 사각형 곡면으로 재구성한다.

2.2 선형변환

실제 선형설계시에는 정의된 선형을 설계자가 의도하는 방향으로 미소 변형시킬 필요가 있다. 이런 경우 유용한 선형설계방법은 기준선형의 체계적인 변환으로 이에 대한 연구로는 Lackenby(1950), Alef & Collatz(1976), Rabien(1979) 등이 있다.

2.2.1 체계적인 변환 방법

● 좌표계의 설정

선형을 정의하기 위해서는 기본치수를 비롯하여 여러개의 선형정의를 위한 독립변수가 요구된다. 이 경우 무차원화된 좌표계를 사용하면 기본치수의 영향을 배제할 수 있어서 표현이 편리하다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 무차원화된 좌표계를 설정하였다.

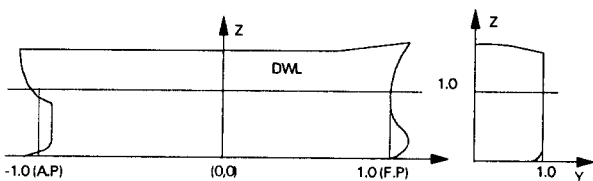


Fig. 3 Non-dimensionalized coordinate system

● 변형 순서

수학적으로 정의된 선형을 기준으로 하여 체계적으로 변형시킨다.

L_{pp} , B , T 를 변경시킬 경우에는 적절히 보간하여 새로운 주요치수를 결정한다.

● 기준선의 체계적인 변환

선형변환을 위한 횡단면적 곡선 및 DWL의 변형에서 제어될 수 있는 주요 form parameter 들로는 면적 (C_p , C_w), 중심 위치 (X_{LCB} , X_{LCF}) 그리고 중앙평행부의 길이와 위치가 있다.

단면 형상의 변환을 위해서는 Lackenby방법을 사용한다. Fig. 4는 완전한 prismatic곡선을 나타내고, 실선은 기준선의 C_p 곡선을 표시하고, 점선은 기준선의 변형된 C_p 곡선을 나타내고 있다.

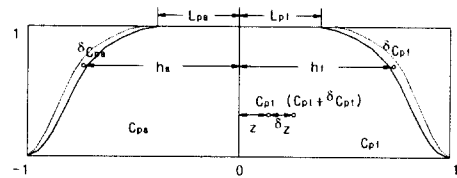


Fig. 4 Prismatic curve

여기서

C_{pt} : 기준선의 전체 주형계수

δC_{pt} : 요구된 C_p 의 변화량

C_{pf} : 기준선의 선수부 주형계수

C_{pa} : 기준선의 선미부 주형계수

δC_{pf} : 선수부 C_p 의 변화량

δC_{pa} : 선미부 C_p 의 변화량

Z : 기준선의 2등분한 선체의 중앙에서 LCB까지의 거리 (중앙에서 F.P쪽을 +, A.P 쪽 이동을 - 로 한다.)

δZ : 요구된 LCB의 이동량

(선수쪽으로 이동을 +, 선미쪽으로 이동을 - 로 한다.)

Fig. 5은 LCB, C_p , L_p 를 제어함으로써 Fig. 4의 C_p 곡선이 변화하고 이에 대해 변화하는 횡단면을 보여준다.

각각의 form parameter에 대한 영향을 고려하기 위해서는 나머지 form parameter를 0으로 두고 Lackenby 방법을 실행하면 된다.

Fig. 6은 DWL변화에 따른 횡단면의 변화를 보여준다.

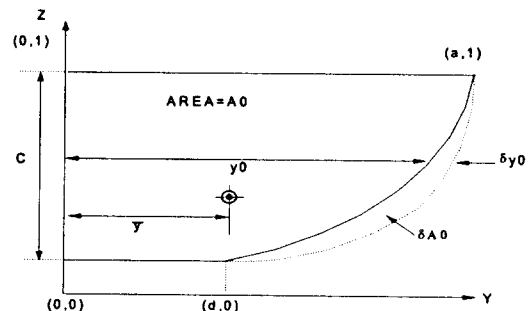


Fig. 5 Deformation of section's form by variation of C_p curve

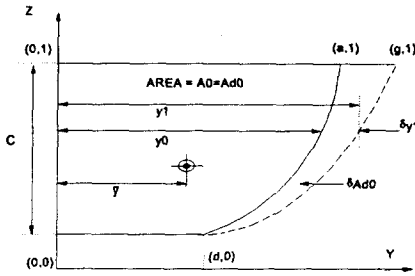


Fig. 6 Deformation of section's form by variation of DWL

3. 저항 계산

기준선의 체계적 변환을 확장시킬 경우 Fig. 8과 같은 parametric study가 가능하게 된다. 이렇게 하여 얻어진 offset들로부터 저항 산정을 수행할 수 있게 된다.

선체가 받는 저항을 저항성분 별로 분류하면 식 (3.1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_w + R_v \\
 &= R_w + R_f + R_{vp} \\
 &= R_w + R_f + R_{vp1} + R_{vp2}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

여기서, R_T : 전체저항

R_w : 조파저항

R_v : 점성저항

R_f : 마찰저항

R_{vp1} : 박리 이전의 점성압력저항

R_{vp2} : 박리 이후의 점성압력저항

일반실에서는 전저항의 80%~90%가 점성저항이다. 따라서 본 연구에서는 점성저항을 초기선형 결정의 기준으로 삼는다.

3.1 점성저항의 계산

점성저항은 난류경계층에 대한 적분법에 의해 계산을 수행한다.

경계층 계산은 $R_n = 10^7$ 에서 수행하고 경계층 계산의 결과로 얻어지는 θ 와 H 의 값에 의해 점성저항은 확장된 Squire-Young방법을 사용하여 식 (3.2)와 같이 결정했다. 식 (3.2)에서 우변 첫 번째 항의 계산 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 R_v &= R_f + R_{vp} \\
 &= R_f + R_{vp1} + R_{vp2} \\
 &= \rho U^2 \int_{GIRTH} \theta_\infty du + R_{vp2} \\
 \theta_\infty &= \theta \left(\frac{U_\infty}{U} \right)^{\frac{H+5}{2}} \\
 R_v &= \rho U^2 \int_{girth} \theta \left[\frac{U_\infty}{U} \right]^{(H+5)/2} du + R_{vp2}
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

여기서, R_v : 점성저항

R_{vp2} : 점성압력저항

U_∞ : 균일속도

ρ : 유체의 밀도

θ : 운동량 두께

H : 형상계수

박리점 이후의 점성압력저항의 근사계산은 2차원 회전체에 대해 박리점에서의 압력이 일정한 것으로 가정하여 추정 한 정을 3차원 실선에 확장하여 사용했다.

박리 이후의 점성압력저항(R_{vp2})은 식 (3.3)과 같이 나타낼 수 있고 계산된 저항 계수값은 Fig. 9와 같다.

$$R_{vp2} = (1/2) U_\infty^2 (\sum C_{\rho i} A_{xi} - C_{ps} A_s)
 \tag{3.3}$$

여기서, C_{ps} : 박리점에서 압력계수

A_s : 박리점에서의 면적

A_{xi} : YZ-평면에 투영된 각 panel의 면적

이들 저항치를 무차원화시킨 저항계수로 나타내면 식 (3.4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{R_v}{0.5 \rho S U_\infty^2} \\
 C_f + C_{pv1} &= \frac{R_f + R_{pv1}}{0.5 \rho S U_\infty^2} \\
 C_{pv2} &= \frac{R_{pv2}}{0.5 \rho S U_\infty^2}
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

그러므로, parametric study에 의한 전저항 계산값의 결과들은 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있다.

3.2 계산 예

점성저항을 고려한 초기 선형 결정의 계산 예를 보이기 위해 Fig. 7에 나타난 것과 같은 SSPA-720선을 모델선으로 택하여 이를 수학적 선형정의 및 체계적 변환방법으로 처리했다. Fig. 8에서처럼 부심의 위치의 변동으로 수행된 변환의 결과로 얻어진 9개의 선형에 대해 점성저항을 계산했다.

9개의 선형변환에 대해서 $R_n = 10^7$ 값에서 계산된 각각의 저항산정의 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

부심위치의 변경에 따른 선형의 변환에 대응하는 박리전의 점성저항계수 ($C_f + C_{pv1}$), 박리이후의 점성압력저항계수 (C_{pv2}) 그리고 점성저항계수 (C_v)를 나타내고 있으며 이와 같은 parametric study에 의해서 9개, 16개, 25개 등의 변환선형중에서 최적선형을 구할 수 있다.

최소저항 선형은 부심위치가 기준 모델선보다 길이방향으로 선수쪽으로 0.02L 옮겨지고 높이방향으로는 변화가 없는 상태의 것으로 판정한다. 실제 설계의 경우 이렇게 구해진 최소저항 선형을 다시 선형 변환시켜 보다 나은 최적선형의 존재 여부를 조사할 수 있다.

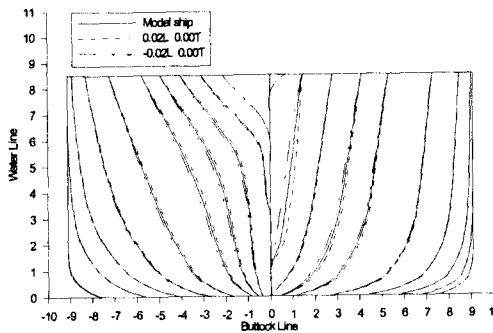


Fig. 7 Body Plan about varying the center of buoyancy

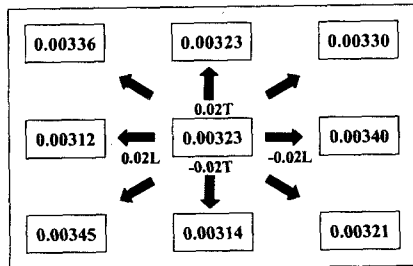


Fig. 8 Result of Calculating (Cf+Cpv1)

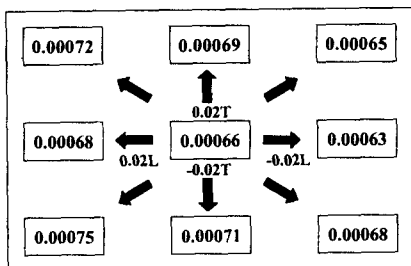


Fig. 9 Result of Calculating Cpv2

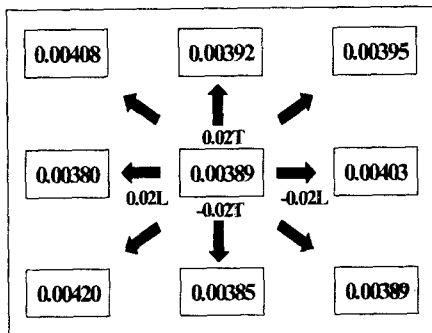


Fig. 10 Result of Calculating Cv

4. 결론 및 전망

지금까지의 연구 내용을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 체계적 선형변환과 도출된 선형에 대한 적절한 비교 기준의 적용은 최적선형 결정에 유용하다.
- (2) 일반 실선에 대해서 저항성능을 비교기준으로 택할 경우, 전체저항의 80~90% 이상을 점하는 점성저항을 전저항에 대치

할 수 있고 정성적 비교에는 문제점이 없다.

(3) 본 연구의 과정에 따라 도출된 선형의 Gregory곡면표현은 다음 단계의 설계와 생산에서 필요로 하는 형상정보의 보다 정확한 제공을 가능케 한다.

참고 문헌

김시영(1992). "떡법칙 유동모델의 개선에 의한 선미 유동장내 속도 분포 연구", 대한기계학회논문집 16권 7호, pp 1391~1397.

Alef, W. E. and Collatz, G.(1976). "Computer Aided Design of Ship's Line by Nonlinear Distortion of Parent Forms" ICCAS'76, pp 157~163.

Choi, B. K.(1991). "Surface Modeling for CAD/CAM", ELSEVIER, Amsterdam- Oxford-New York-Tokyo.

Farin, G. E.(1990). "Curve and Surfaces For Computer Aided Geometric Design", Academic Press, INC.

Havelock, T. H.(1951). "The Wave Resistance Theory and It's Application to Ship Problem", SNAME.

Hess, J. L. & Smith, A.M.O.(1962). "Calculation of Nonlifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies", Douglas Aircraft Company, Rep. No. E. S. 40622, March.

Hess, J. L. & Smith, A.M.O.(1967). "Calculation of Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies", Progress in Aeronautical Science, Vol. 8, Oxford.

Himeno, Y.(1983). "A Boundary Layer Calculation on Ship stern Wake Field and Viscous Resistance Including Vortex Resistance", US-Japan Cooperation Research on Viscous Flow around Ship, National Science Foundation, Washington, DC, Aug.

Jonas, (1983). "Eine Entwurfsmethod Zur Formoptimierung Von Tiefgetauchten Rotationskörpern Und Profilen Nach Hydrodynamischen Gesichtspunkten", Berlin, doctoral thesis.

Kim, Si-Young and Lewkowicz, A. K.(1991). "The Surface Roughness Effects in Computation of The Turbulent Boundary Layer on Slender Ship", KSME Journal, Vol. 5, No. 2, pp 65~70.

Lackenby, H.(1950). "On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms", Transaction INA, Vol. 92, pp 289~316.

Larsson, L.(1974). "Boundary Layers of Ships, Part III: An Experimental Investigation of the Turbulant Boundary Layers on a Ship Model", Allmän Rapport, No. 46, Göteborg, Sept.

Rabien, V.(1976). "Ship Surface Design by Transforming Given Mesh Representations", ICCAS'79, pp 85~93.

Rogers, D. F. and Adams, J. A.(1990). "Mathematical Elements For Computer Graphics", McGraw-Hill Publishing Company, international edition.

Stock, H. W.(1983). "Integral Method for the Calculation of Three Dimensional, Laminar and Turbulent Boundary Layers", NASA Technical Memorandum, NASA TM 75320, Washington, DC,

- Aug. of Ship in Calm Water”, doctral thesis, SNU.
- Toriya, H. and Chiyokura, H.(1993). “3D CAD Principles and Applications”, Springer-Verlag. 2000년 2월 1일 원고 접수
- Young, S. I.(1984). “Numerical Analysis of Powering Performance 2000년 4월 26일 수정본 채택
-