

편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템 설계에 관한 연구

강용덕* · 김문찬* · 전호환*
*부산대학교, 조선해양공학과

A Study on the Design of a Biased Asymmetric Preswirl Stator Propulsion System

YONG-DEOK KANG*, MOON-CHAN KIM* AND HO-HWAN CHUN*

* Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University

KEY WORDS: Biased Asymmetric 편재된 비대칭형, Preswirl Stator 전류고정날개, Design 설계, 300K VLCC 초대형 유조선, slipstream rotational velocity 후류에서의 회전방향 속도, lifting surface theory 양력면 이론

ABSTRACT: This paper deals with a theoretical method for the design of a biased asymmetric preswirl stator propulsion system which has been used to increase efficiency by the recovery of a propeller slipstream rotational energy by the counter rotating flow of a stator. In the case of full slow-speed ship, the upward flow is generated at the propeller plane by the afterbody hull form. The generated upward flow cancels the rotating flow of the propeller at the starboard part while it increases at port part. A biased asymmetric preswirl stator propulsion system consists of three blades at the port and one blade at the starboard which can recover the biased rotating flow effectively. This paper provides the design concept which gives more simple and a high degree of efficiency. The model tests for the designed compound propulsion system will be carried out later.

1. 서 론

전류고정날개에 대한 국내에서의 연구는 1990년대 초부터 KRISO를 중심으로 있어 왔으나 아직까지 실선에 적용된 바는 없다. 이는 일본 조선소가 각 조선소별로 한가지 이상의 에너지 절약장치가 있어 자체 홍보효과와 실제적으로 수주 경쟁에서 우위를 점할 수 있는 이점을 가지고 있음을 볼 때 세계 1위의 한국 조선의 선결과제라 할 수 있겠다. KRISO에서 최종적으로 개발된 전류고정날개의 모형 시험 결과 전류고정날개를 부착하지 않았을 때 대비 약 6%정도의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.(이진태 외, 1993)

기존의 Mitsubishi type 리액션 핀(Fig. 1)은 8등분하여 12시방향과 6시방향을 제외한 6개의 날개를 이용하여 counter-swirl을 만들어 프로펠러의 회전에너지를 흡수할 수 있게 하였다. 12시 방향은 반류가 커지는 것을 피하기 위하여 그리고 6시방향은 버토키를 용이하게 하기 위하여 빼고 설계하였다. 즉, 기존의 스타일은 좌현과 우현의 날개수나 배치가 똑같은 형태를 하고 있다. 이에 반해 본 연구에서 제안하는 새로운 스타일의 전류고정날개는 우현의 날개수를 좌현의 날개수 보다 적게 하여 전체적으로 고르게 회전에너지를 흡수하기 위한 개념으로써 이는 저속비대선의 경우 선미형상으로 인해 프로펠러면으로 선저를 따라 올라오는 흐름이 발생하여 우현의 경우는 프로펠러 회전에 의한 회전류를 상쇄시키고 좌현은 반대로 증가시키

는 현상이 있기 때문이다.

본 논문에서는 지금까지 설치된 통상의 전류고정날개수보다 더 적은 수의 전류고정날개를 사용하여 설계 및 제작이 용이하면서도 충분한 추진효율 향상효과를 얻을 수 있는 고정날개 추진시스템을 설계 제안하였다. 설계된 편재된 비대칭형 전류고정 날개를 사용하여 모형시험을 수행할 예정이며 추후 결과를 발표할 예정이다.

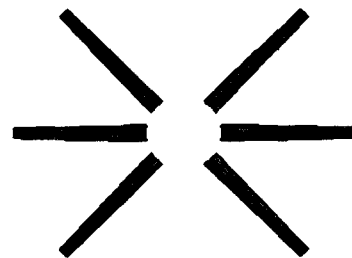


Fig. 1 Mitsubishi type reaction fin

2. 설계 개념 및 설계 프로그램 개요

본 논문에서 사용되어질 전류고정날개의 배치는 기존의 배치와 달리 우현에 3개, 좌현에 1개의 날개를 배치하는 방식이다. 이는 통상 선박의 경우 프로펠러 면에서 선미형상의 영향으로 유동이 뒷방향으로 올라가게 되어 좌현에서는 프로펠러

제1저자 강용덕 연락처: 부산시 금정구 장전2동 부산대학교
조선해양공학과 051-510-2757 lovers20@pusan.ac.kr

에 의한 유기속도와 합쳐져 더 큰 회전속도가 발생되며 우현에서는 반대로 서로 상쇄되는 효과가 있으므로 좌현과 우현이 많이 달라지게 된다. 이는 유사선박에 대한 LDV시스템으로 계측한 결과(Fig. 2)에서도 확인할수 있다. KRISO에서 계측되어진 프로펠러 면에서 공칭반류 회전성분을 반경별로 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 볼수 있는것과 같이 대상선(300K VLCC)의 선저에서 올라오는 유속의 영향이 큰 것을 볼수 있다. Fig. 4에서는 전류고정날개가 위치(프로펠러 면에서 0.5R 선수쪽으로 떨어진 곳)하게 될 곳에서 반경별로 유기되는 회전방향의 평균속도를 나타내었다. 그리고, 공칭반류와 반경별 평균속도의 합성분을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5의 형태는 LDV로 계측한 결과와 비슷한 경향을 보여준다.

전류고정날개 설계를 위해서 양력면이론에 의한 프로펠러와 전류고정날개의 상호영향을 고려한 프로그램을 사용하였다. 아래와 같이 문제의 정식화를 시도하였다.

- 1) 날개단면은 매우 얇고 입사류에 대해 작은 영각을 갖는다.
- 2) 유체는 비점성, 비압축성이며 속도 포텐셜이 존재한다.

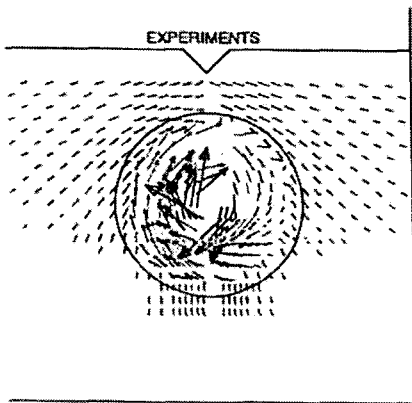


Fig. 2 Measured velocity of propeller plane by LDV

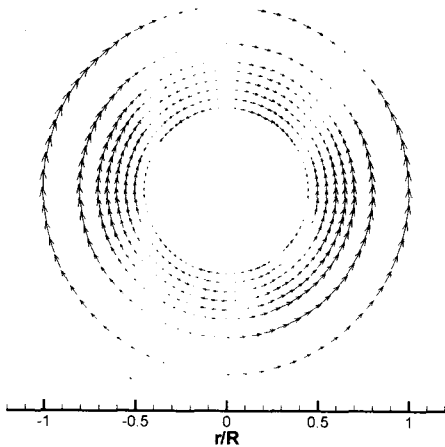


Fig. 3 Nominal wake at propeller plane

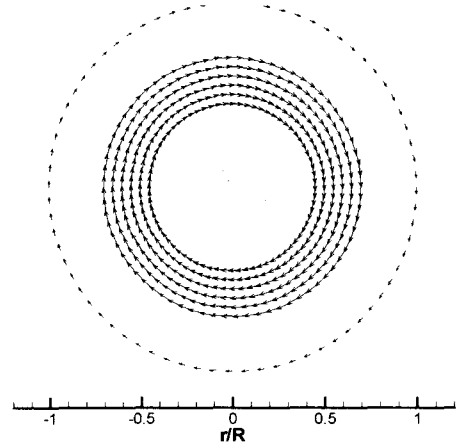


Fig. 4 Propeller mean wake

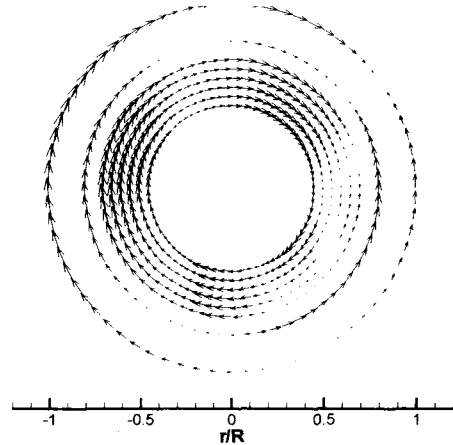


Fig. 5 Induced wake by propeller behind 0.5R from a propeller plane

- 3) 날개단면과 그 운동에 의한 교란속도 포텐셜은 무한원방에서는 사라지며 비정상운동은 매우작고 정지상태로부터 시작한 것으로 한다.

위와같은 가정아래서 선형화된 문제를 다루며 따라서 양력면이론에서는 두께영향을 고차항으로 무시하여 생각할 수 있고, 날개단면과 그 후류는 날개단면의 평균위치에 놓인 평면상에 있으며 모든 식과 경계조건들도 선형화한다.

전 유체영역에서 질량보존법칙 즉, 연속방정식이 성립해야 하며 유체영역내의 한 점에서의 압력은 Bernoulli의 법칙에 의해서 구할 수 있다. 따라서 교란속도 포텐셜 ϕ 를 $\Delta\phi = (v_x, v_y)$ 로 정의하면 연속방정식은 $\nabla^2\phi = 0$ 로 표시된다. 여기서 다음과 같은 경계조건들을 부과하면 문제는 유일하게 정의된다.

- 1) 날개와 그 반류에 의한 교란속도는 무한원방에서 사라진다.

- 2) 날개후부 보오텍스면(vortex sheet)에서 운동학적 경계조건

$$: \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0, \text{ at surface boundary}$$
- 3) 날개후부의 보오텍스면(vortex sheet)에서 역학적 경계조건
 : 중력과 표면장력의 영향을 무시하면 공동 표면에서의 압력은 일정하다.
- 4) 유체입자는 날개 뒷날에서 접선방향으로 순탄하게 떨어져 나간다.
- 5) Kelvin의 순환보존법칙이 성립한다.

앞에서 정의되어진 수치적 양력면이론에 의한 일련의 과정을 프로그램화하여 흐름도(Fig. 6)를 나타내었다. 먼저 프로펠러에서 유기되는 속도를 구하여 고정날개의 입력값으로 하고 고정날개에 의해 유기되는 속도를 프로펠러의 입력값을 사용하여 반복수행을 한다. 편재된 비대칭형 고정날개를 해석하기 위하여 마지막 프로그램 실행시 비대칭형 고정날개 프로그램을 실행시킨다.

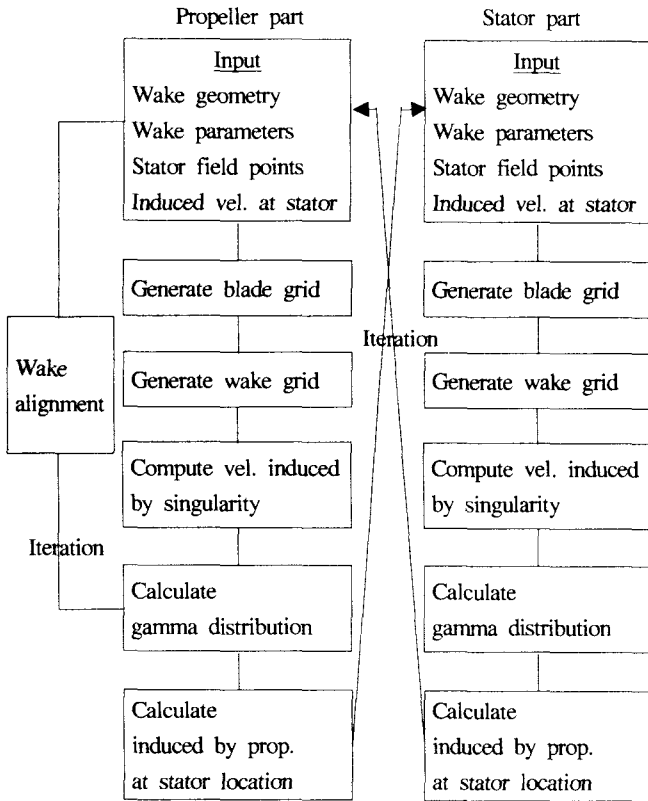


Fig. 6 Flow chart

3. 편재된 전류고정날개의 설계

선박용 프로펠러는 궁극적으로는 실선 반류중에 최고의 성능이 나타날 수 있어야 한다. 고정날개도 프로펠러와 마찬가지로 축방향, 반경방향 및 접선방향의 3속도 성분으로 구성되어 있는 불균일 반류중에 놓이게 된다. 고정날개의 위치가 프로펠

러 앞에 위치하기 때문에 고정날개 평면에서의 반류분포는 프로펠러 평면에서의 반류분포와는 약간 다른 모습을 보이고 있으나 그 불균일도는 거의 비슷하다 하겠다. 고정날개 평면에서 모형시험에서 계측된 불균일 반류를 조화해석한 결과를 사용하여 이 반류분포에 최대로 적합한 고정날개 설계를 목표로 하였다.

불균일 반류중에서 고정날개의 피치각이 각 날개별로 동일할 경우 축방향 성분의 불균일도 뿐아니라 접선방향의 속도가 고정날개 입장에서 좌현과 우현에서 반대방향으로 나타나 각 날개에 걸리는 부하가 크게 달라지므로 고정날개의 각 날개 위치별 피치각도를 잘 조절해 주지 않으면 최대효율을 얻어내기 힘들다. 본 논문에서는 고정날개의 부하량을 좀더 가시적으로 파악할 수 있도록 등가입사각(α_{equi} : Equivalent angle-of-attack)으로 치환하여 표시하였다. 즉 각각의 날개의 각각의 반경별로 부하량을 아래와 같이 상응하는 2-D 국부 받음각으로 치환하였다.(이진태 외, 1992)

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{C_L}{2\pi} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{2G}{\left(\frac{u}{V_s}\right)\left(\frac{c}{R}\right)} \right)$$

여기서 G는 무차원화된 부하값 $G = \left(\frac{\Gamma}{2\pi R V_s} \right)$ 이고, u는 국부 유입속도, c는 코오드 길이를 의미한다.

Fig. 7에서는 전체 부하의 평균값이 각 날개에 걸리도록 날개 각도를 각각 돌려서 나온 양력 분포를 나타내었다.

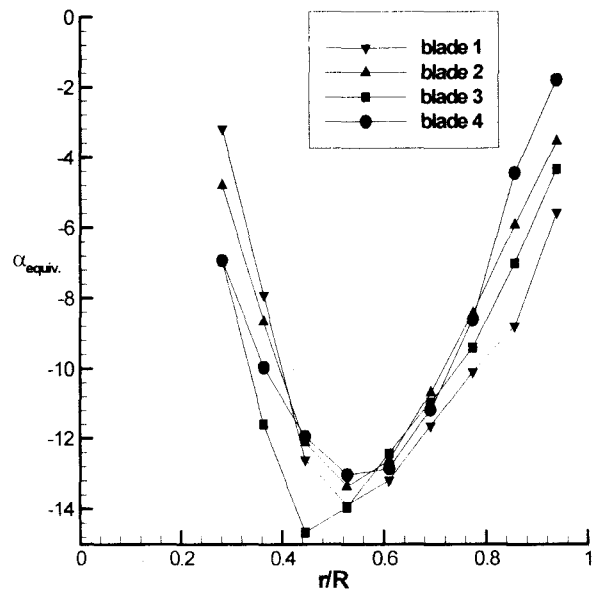


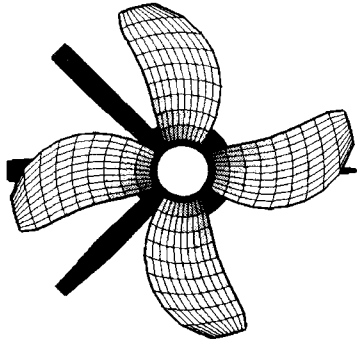
Fig. 7 Radial circulation distribution on the stator blades

Fig. 7에서 알 수 있듯이 불균일 반류에 맞는 보다 더 정확한 고정날개를 설계하기 위해서는 각 날개반경별로 유입속도에 맞도록 반경방향별 제원들을 전부 다르게 하여야 할 것이다. 그러나 완벽한 이상 받음각이 되도록 반경방향별 제원을

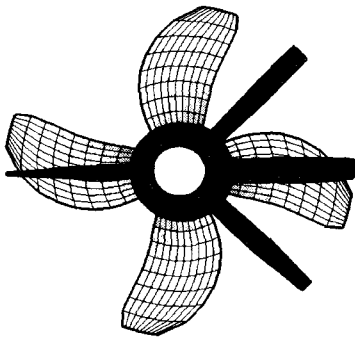
설계할 경우 제작의 어려움 및 제작비의 과다 등으로 인한 손실과 추진효율 향상과의 이득을 계산해 보아야 할 것이다. 과도한 피치각의 변화가 있게 되면 제작상의 문제뿐만 아니라 유체역학적으로도 안 좋기 때문에 적당한 선에서 타협이 이루어져야 한다. 이러한 상황들을 고려하여 Table 1에서는 최적의 유입각을 결정하여 나타내었고, Fig. 8에서는 본 논문에서 수행할 모형을 설계하여 나타내었다.

Table 1 Each radial angle

반경 날개	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
blade 1	10.0	11.0	13.0	12.0	11.0	9.0	7.0	5.0	4.0
blade 2	14.0	15.0	17.0	19.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0
blade 3	19.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	29.0	28.0	27.0
blade 4	13.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	27.0



(a) Looking upstream



(b) Looking downstream

Fig. 8 A biased asymmetric preswirl stator propulsion system

본 논문에서 사용된 대상선(300K VLCC)의 제원을 Table 2에 나타내었다. 대상선 후미에 전류고정날개를 부착하기 위해서는 러더의 고정된 위치로 인해 후미를 Fig. 9에서 보는 것과 같이 변형하지 않고는 설치를 할수 없기 때문에 EZ-Hull이라는 설계 프로그램을 이용하여 최소한의 선형 변형을 시도하였다.

Table 2 Main particulars of model ship

KRISO 300K VLCC	
Lpp(m)	6.4
B(m)	1.16
D(m)	0.6
C_b	0.8101
λ	50

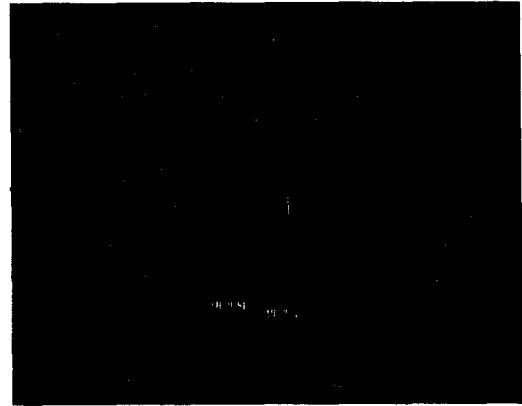
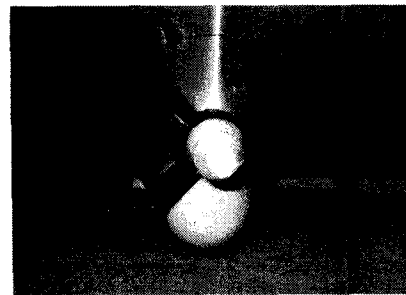


Fig. 9 Modification of 300K VLCC Lines

본 논문에서 효율향상을 위해서 설계되어진 전류고정날개 추진시스템의 모형과 대상선의 모형을 Photo 1에 나타내었다. 이러한 모형들을 이용하여 실제로 얼마만큼의 효율향상이 되는지를 실험할 예정이다.



(a) Stator installed at model ship



(b) Compound propulsion system



(c) Propeller

Photo 1 A biased asymmetric preswirl stator propulsion system

4. 결 론

프로펠러 후류의 회전방향 운동에너지 손실을 회수하기 위한 편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템에 대한 최적 고정날개 설계과정을 기술하였다.

본 논문에서는 대상선(300K VLCC)의 추진효율 향상을 위하여 편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템을 설계의 주요 결론 및 제안은 다음과 같다.

- 1) 저속비대선의 경우 선미형상으로 인해 프로펠러면으로 선저를 따라 올라오는 흐름이 발생하여 우현의 경우는 프로펠러 회전에 의한 회전류를 상쇄시키고 좌현은 반대로 증가시키는 현상이 있기 때문에 본 논문에서 제안하는 새로운 스타일의 전류고정날개는 우현 날개를 1개, 좌현 날개를 3개를 배치하여 전체적으로 고르게 회전에너지 손실을 흡수하기 위한 개념으로써 설계 하였다.
- 2) 불균일 선미후류에 맞추어 각각의 날개별로 반경별 피치각을 다르게하여 고정날개 추진시스템을 설계 제작하였다.
- 3) 앞으로 수행하게 될 모형시험시 고정날개가 있는 경우의 저항시험외에도 고정날개가 없는 경우의 저항, 자항, 추진기 단독시험 그리고 (선체+고정날개)의 저항시험이 필수적으로 필요하며 특히 고정날개에 작용하는 추력이나 고정날개를 붙인 경우에 대한 저항값의 증가는 매우 적은 양이기 때문에 모형시험 수행시 계측에 세심한 주의를 요한다.
- 4) 모형시험을 실시하여 결과를 실선에 적용하여 우수한 성능을 입증하기 위해서는 정확한 실선 유효반류 추정이 매우 중요하다. 개발된 전류고정날개 추진시스템을 실선에 장착하여 성능을 확인하고 프로펠러 주위유동을 계측할 수 있다면 더 많은 마력 절감을 기대할 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국 과학재단에서 주관하는 첨단 조선공학 연구센터(ASERC)에 대한 사업의 지원으로 수행되었다. 저자들은 이 연구비 지원에 감사의 뜻을 표한다.

참 고 문 헌

- 김문찬 외 1993 “비대칭형 전류 고정날개 추진 시스템 연구” 제1호, 제 30호, 대한조선학회
- 반석호 외 1993 “전류고정날개 추진시스템의 저항 추진성능 추정방법 비교” p386-391, 대한조선학회
- 이진태 외 1991 “전류고정날개에 의한 고효율 복합추진장치 시스템 개발 공동연구(I)” 한국해사기술연구소 보고서,

BSI826-1479 · D

- 이진태 외 1992 “전류고정날개 추진시스템 개발, 공동연구(II)” 한국해사기술연구소 보고서, UCK009-1655 · D
- 이진태 외 1993 “30만톤 초대형 유조선에 위한 전류고정날개 추진 시스템 개발”, p392-400, 대한조선학회
- 이진태 외 1992 “추진 효율 향상을 위한 고정날개-프로펠러 추진시스템 개발:대칭형 고정날개 추진 시스템” 제4권, 제29호, 대한조선학회
- Kim, M.-C., et al. 1992 “Analysis of a Preswirl Stator-Propeller System by a Lifting-Surface Theory”, Hull Form '92 Symp.
- Kim, M.-C., et al. 1991 “A Study on the Asymmetric Preswirl Stator Propulsion System”, KRISO Report, UCE500-1558 · D
- “Report of the Powering Performance Committee”, Proceeding of 18th ITTC, Kobe, 1987
- Takekuma, K., Tsuda, S., Kawamura, A. and Kawaguchi, N., 1980 “Development of Reaction Fin as a Device for Improvement of Propulsive Performance of High Block Coefficient Ships”, SNAME Shipboard Energy Conservation Symposium
- “1978 ITTC Performance Prediction Method for Single Screw Ships”, Report of the Performance Committee, Proceedings of 15th ITTC, Hague, 1978.
- 13th symposium on Naval Hydrodynamics, October 6~10, 1980 Sasakawa Hall, Tokyo