

편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템에 관한 연구

강용덕*, 김문찬**, 전호환*

부산대학교 조선해양공학과*

A Study on the Design of a Biased Asymmetric Pre-swirl Stator Propulsion System

Yong-Duck Kang*, Moon-Chan Kim** and Ho-Hwan Chun*

Dept. of Naval Arch. & Ocean Eng., Pusan National University *

Abstract

This paper deals with a theoretical and experimental method for the design of a biased asymmetric pre-swirl stator propulsion system which is an energy saving device by recovering a propeller rotational energy. In the case of slow-speed ships, the upward flow is generated along the afterbody hull form at the propeller plane. The generated upward flow cancels the rotating flow of the propeller at the starboard part while it increases at port part. The present biased asymmetric pre-swirl 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 and the experimental results for the compound propulsion system.

※Keywords : Biased Asymmetric(편재된 비대칭형), Pre-swirl Stator(전류고정날개), Slipstream Rotational Velocity(후류에서의 회전방향 속도), Lifting Surface Theory (양력면 이론)

1. 서론

추진 효율 향상을 위한 복합추진장치의 개발은 선진 조선소 및 각국 연구소를 중심으로 많은 시도가 있어 왔던 연구 과제이며, 이의 실용화를 위

한 연구는 현재 시점에서도 계속 수행되고 있다 (이진태 등 1993, 반석호 등 1993, 이진태 등 1992, 김문찬 등 1993). 프로펠러는 회전하면서 추진력을 발생하기 때문에 프로펠러 후류에 프로펠러 회전방향의 접선방향속도가 불가피하게 생성된다. 이러한 접선방향 속도에 의한 프로펠러 후류에서의 운동에너지 손실을 회수하기 위한 복합 추진 장치로는 CRP(Contra Rotating Propeller), PBCF(Propeller Boss Cap Fin), Vane Wheel, 전

접수일: 2004년 2월 4일, 승인일: 2004년 3월 30일

† 주저자, E-mail: kmcprop@pusan.ac.kr

Tel: 051-510-2757, 2401

류고정날개(Pre-swirl stator) 등이 있다. CRP는 회전방향 운동에너지 회수에 의한 추진효율 증가를 극대화할 수 있으나, 축계가 복잡하여 대형선에는 적용이 거의 불가능하다.

기존 에너지 절약장치 중 현재 가장 효과적이고 실제적으로 큰 문제가 없이 적용되어 온 에너지 절약장치로서 전류고정날개를 들 수 있다. 이 장치는 이미 1900년대 초부터 그 아이디어가 나온 절약장치이나 1980년대부터 Mitsubishi조선소에서 VLCC에 적용하여 국내에서 건조되고 있는 VLCC 대비 속도 경쟁력이 있는 것으로 보고되고 있다. 이는 국내 조선소의 선형 설계수준이 높고 시운전에 의한 차이가 조금 있다하더라도 상당부분 전류고정날개에 의한 효과가 있는 것으로 분석되고 있다. 전류고정날개 추진장치는 프로펠러에 의해 유기되는 접선방향 속도와 반대방향으로 접선방향 속도를 주기 위하여 프로펠러 전방에 고정날개를 설치함으로써 전류고정날개 추진장치 후류에서의 회전방향 운동에너지 손실을 최소화함으로써 추진효율을 향상시키려는 추진장치이다. 전류고정날개 추진장치는 상반회전 프로펠러에 비하여 축계가 복잡해지지 않고 설치가 용이하기 때문에 초기 설치비가 저렴할 뿐 아니라 운항 중 고장의 염려가 적다는 이점이 있다.

전류고정날개에 대한 국내에서의 연구는 1990년대 초부터 KRISO를 중심으로 있어 왔으나 아직까지 실선에 적용된 바는 없다. KRISO에서 최종적으로 개발된 기존 전류고정날개의 모형시험 결과 전류고정날개를 부착하지 않았을 때 대비 약 6% 정도의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다(양지만 등 2001). 이를 전류고정날개 단가로 환산하여 계산하면 44만불 투자된 비용을 약 2년 반 만에 회수할 수 있고 선박 수명을 25년으로만 보아도 전체적으로 약 400만불의 에너지 절감 효과가 있다 할 수 있겠다.

2. 새로운 전류고정날개 개념

기존의 Mitsubishi 리액션 핀은 Fig.1에서와 같이 8등분하여 12시 방향과 6시 방향을 제외한 6개의 날개를 이용하여 counter-swirl을 만들어 프

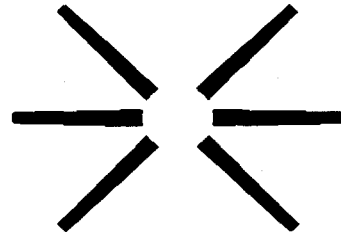


Fig. 1 Profile of mitsubishi style reaction fin

로펠러의 회전엔에너지를 흡수할 수 있게 하였다.

12시 방향은 반류가 커지는 것을 피하기 위하여 그리고 6시 방향은 선체를 밖쪽에 고일 때 손상의 위험이 있어 빼고 설계하였다. 즉, 기존의 스타일은 좌현과 우현의 날개 수나 배치가 똑같은 형태를 하고 있다. 이에 반해 새로운 스타일의 전류고정날개는 우현의 날개수를 좌현의 날개 수 보다 적게 하여 전체적으로 고르게 회전엔에너지를 흡수하기 위한 개념이다. 이는 통상 저속 비대선박의 경우 프로펠러 면에서 선형의 영향으로 유동이 윗 방향으로 올라가게 되어 좌현에서는 프로펠러에 의한 유기속도와 합쳐져 더 큰 회전속도가 발생되며 우현에서는 반대로 서로 상쇄되는 효과가 있으므로 좌현과 우현이 회전방향 측면에서 많이 달라지게 된다.

이는 일반적인 저속선의 프로펠러 면에서 LDV 시스템으로 측정한 속도 분포(Fig.2)에서도 볼 수 있다.

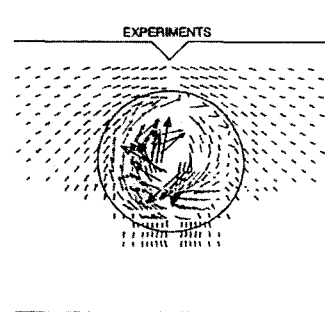


Fig. 2 Typical transverse velocity measured by LDV at propeller plane

Table 1 Principal particulars of model ship

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

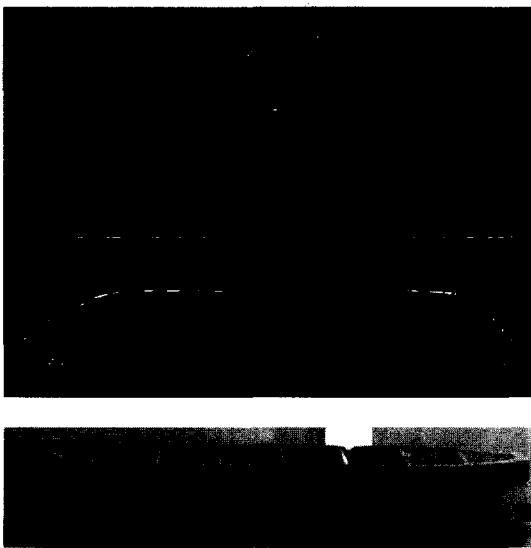


Fig. 3 300K VLCC Lines and photograph

Table 1과 Fig.3에서는 본 논문에서 사용되는 모형선의 주요치수와 실제 모형선의 사진을 보여 주고 있다. Fig.4에서 보는 것과 같이 대상선의 프로펠러 면에서 계측되어진 공칭반류의 회전속도 성분을 반경별로 나타내었고, Fig.5에서는 프로펠러 면에서 후류쪽으로 0.5R 떨어진 곳에서 프로펠러에 의해 반경별로 유기되는 평균회전속도를 나타내었다. 그리고, 공칭반류와 프로펠러에 의해 유기되는 반경별 평균속도의 할 성분을 Fig.6에 나타내었다. Fig.6에서 보이는 회전속도는 LDV로 계측한 속도와 비슷한 경향을 보여준다. 이러한 이유로 본 논문에서 설계되어질 전류고정날개의 배

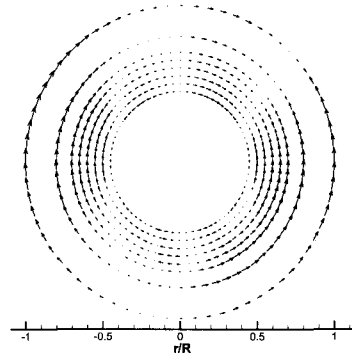


Fig. 4 Tangential velocity component of nominal wake at propeller plane

치는 기존의 배치와 달리 우현에 3개 좌현에 1개의 날개(Fig.7)를 배치하는 방식으로 결정하였다. 또한 기존의 선형에 전류고정날개를 AP기준점을 변경하지 않는 범위에서 300K VLCC의 후미를 Fig.8에서보는 것과 같이 수정하였다. 모형시험에서는 Fig.9에서 보는 바와 같이 전류고정날개가 없을 때(without stator), Fig.10에서는 좌현에 날개를 3개 우현에 날개를 1개 배치한 편재된 비대칭형 전류고정날개를 장착 했을 때(port stator), Fig.11에서는 설계된 전류고정날개를 좌우로 돌려서 우현에 3개, 좌현에 1개 장착 했을 때(starboard stator) 효과를 비교함으로써 설계되어진 전류고정날개의 효율향상을 확인하고자 하였다.

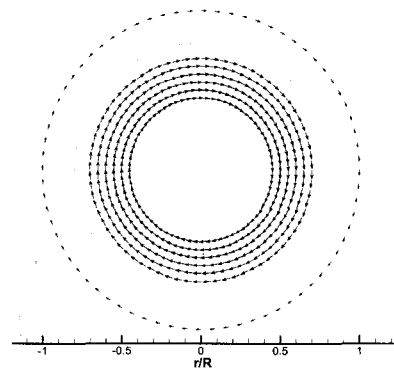


Fig. 5 Propeller induced tangential velocity

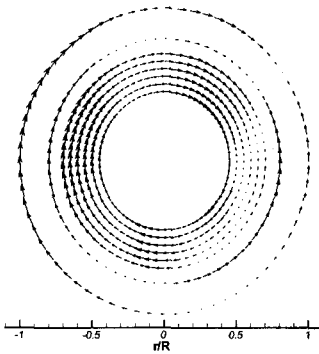


Fig. 6 Total tangential velocity at 0.5R behind from a propeller plane

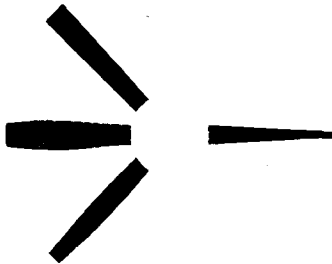


Fig. 7 Proposed biased asymmetric designed stator (looking upstream)



Fig. 8 Modification of 300K VLCC lines for installation of the stator

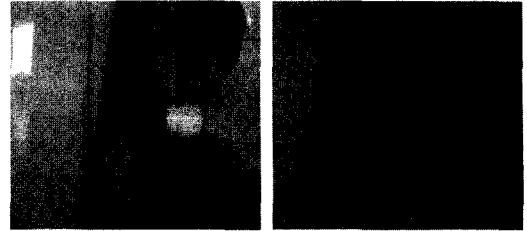


Fig. 9 Model profile without stator



Fig. 10 Model profile with port stator

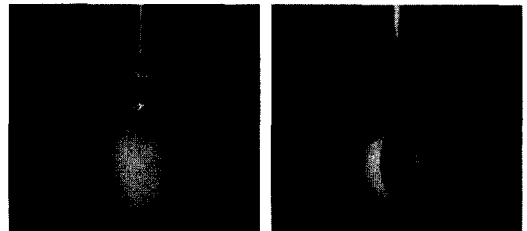


Fig. 11 Model profile with starboard stator

3. 포텐셜 이론에 의한 설계

전류고정날개 설계를 위해서 양력면이론에 기초한 프로펠러와 전류고정날개의 상호영향을 고려하여 개발된 프로그램을 사용하였다(ITTC 1987).

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 프로펠러 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 사용

하여 이 반류분포에 최대한 적합한 고정날개 설계를 목표로 하였다. 다만 유효반류에 대한 정확한 예측이 현재로서는 어렵기 때문에 공칭반류를 사용하여 설계를 수행하였다.

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

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

여기서 G는 무차원화 된 부하 값

$$G = \left(\frac{\Gamma}{2\pi R V_s}\right)$$

이고, u 는 국부 유입속도, c 는 코오드 길이를 의미한다.

Fig.12에서는 전체 부하의 평균값이 각 날개에 걸리도록 날개 각도를 각각 돌려서 나온 양력 분포를 나타내었다. Fig.12에서 알 수 있듯이 불균일 반류에 맞는 보다 더 정확한 고정날개를 설계하기 위해서는 각 날개반경별로 유입속도에 맞도록 반경방향별 제원들을 전부 다르게 하여야 최적의 elliptic 형상을 갖는 부하분포 모양이 될 것이다. 그러나 정확한 optimum 부하가 되게 하기 위하여 반경방향별 제원의 변화를 급격히 설계할 경우 제작의 어려움 및 제작비의 과다 등으로 인한 손실 뿐 아니라 추진효율의 향상과 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 2에서는 앞으로 수행되어질 좌현 전류고정날개의 반경방향별 최적 유입각과 우현 전류고정날개의 유입 각을 나타내었고, Fig.13에서는 본 논문에서 수행할 모형을 설계하여 나타내었다.

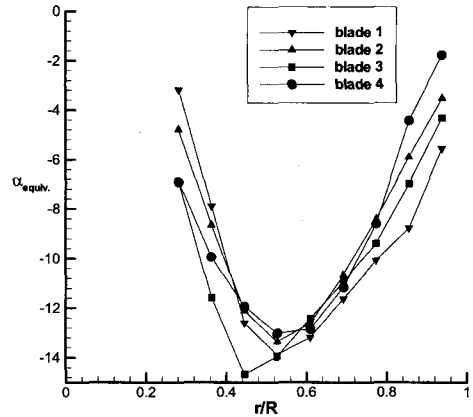
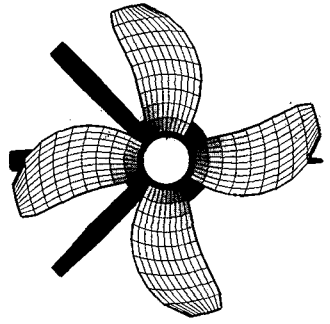
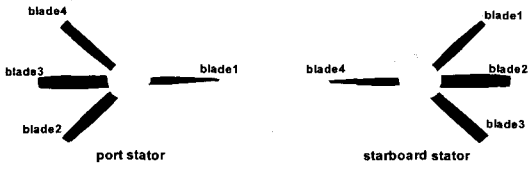


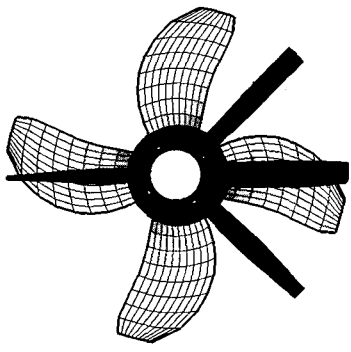
Fig. 12 Radial circulation distribution on the stator blades (port stator)

Table 2 Designed radial angle distribution along radii (degree)

blade \ radius		radius								
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	port	10	11	13	12	11	9	7	5	4
	starboard	14	15	17	19	21	20	19	18	17
2	port	14	15	17	19	21	20	19	18	17
	starboard	19	20	22	24	26	28	29	28	27
3	port	19	20	22	24	26	28	29	28	27
	starboard	13	14	16	18	20	22	24	26	27
4	port	13	14	16	18	20	22	24	26	27
	starboard	10	11	13	12	11	9	7	5	4



(a) Looking upstream



(b) Looking downstream

Fig. 13 Representation by panel for a biased asymmetric preswirl stator propulsion system

우현 전류고정날개(starboard stator)는 좌현 전류고정날개(port stator)를 좌우 대칭되게 돌려서 장착함으로써 좌현 전류고정날개(port stator)의 효율향상을 비교용으로 채택하였다. Table 2에서 결정된 유입각을 위에서 정의한 등가임사각으로 치환하여 양력분포 결과 값을 Fig.14에 보여주고 있다.

Fig.14는 Fig.13과 비교하여 각 날개마다 평균

값이 고르게 분포하지 않아 최적의 유입각 분포라고는 볼 수 없다. Blade1과 blade2는 port stator 보다 유입각이 증가되어 양력분포 값이 증가(밑으로 증가됨)되었고 blade3과 blade4는 유입각이 감소하여 양력분포 값이 감소(위로 증가됨)되었음을 알 수 있다. 위와 같이 최적 유입각으로 설계되어진 좌현 전류고정날개와 최적으로 설계되어지지 않은 우현 전류고정날개를 모형시험 향으로써 효율 향상을 비교검증하겠다.

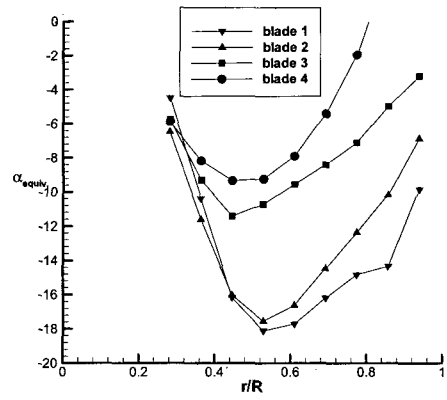


Fig. 14 Radial circulation distribution on the stator blades (starboard stator)

4. 모형시험 및 결과

예인수조에서의 모형시험결과를 바탕으로 실선의 성능을 추정하기 위해서는 추진기 단독시험, 모형선의 저항시험, 저항시험 결과가 필요하다. 일반적인 추진기에 의해 추진되는 선박의 경우에는 이와 같은 모형시험기법이나 모형시험결과를 실선으로 확장하는 방법에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으며 현재는 1978 ITTC Powering Performance Prediction Method가 국제적인 표준 방법으로 사용되어지고 있고, 이때의 모형선 실선 상관관계가 어느 정도 정립되어 있다.

복합추진기에 대한 모형시험 해석은 선체-고정날개-추진기에 의한 유동 특성을 검토 해석하여야 하며, 본 논문에서는 전류고정날개에 대한 저항시험 해석법 및 실선확장 방법을 사용하여 해석하였다(Takekuma et al. 1980, ITTC 1987).

Table 3 Comparison of experimental performance results at three different cases

knots	stator	EHP(PS)	DHP(PS)	RPM	%
13.5	without	12,344	19,557	64.43	100.0
	port	12,515	19,437	61.72	99.4
	starboard		20,395	61.75	104.3
14.0	without	14,219	21,811	67.08	100.0
	port	14,316	21,225	63.87	97.3
	starboard		22,251	63.83	102.0
14.5	without	16,163	24,208	69.77	100.0
	port	16,279	23,231	66.25	96.0
	starboard		24,331	66.07	100.5
15.0	without	18,175	26,764	72.43	100.0
	port	18,369	25,421	68.57	95.0
	starboard		26,676	68.39	99.7
15.5	without	20,256	29,441	75.06	100.0
	port	20,520	27,787	70.91	94.4
	starboard		29,224	70.72	99.3
16.0	without	22,404	32,252	77.64	100.0
	port	22,700	30,362	73.18	94.1
	starboard		31,997	73.03	99.2
16.5	without	24,621	35,172	80.14	100.0
	port	24,902	33,209	75.39	94.4
	starboard		34,963	75.27	99.4
17.0	without	26,906	38,263	82.47	100.0
	port	27,165	36,446	77.63	95.3
	starboard		38,242	77.54	99.9

Table 3 에서는 동일한 유효마력을 기준으로 전류고정날개가 없을 경우(without), 좌현 고정날개(port stator), 우현 고정날개(starboard stator)를 장착하였을 경우에 필요한 전달마력을 이용하여 각각의 효율을 비교 하였다. 전류고정날개가 없을 경우(without)에 대비 고정날개의 부착효과를 살펴볼 수 있겠다.

고정날개에 작용하는 추력이나 고정날개를 붙인 경우에 대한 저항 값의 증가를 전류고정날개가 없을 때와 장착 했을 때 결과비교를 Fig.15에서 보 였다. 전류고정날개에 의한 부가저항이 잘 나타나 고 있다. 앞에서 정의되어진 전류고정날개가 없는 경우, port stator경우, starboard stator경우 일 때의 전달마력(DHP)을 Fig.16에서 비교하였다. 우 현 전류고정날개(starboard stator)를 시험에 포함 한 목적은 좌우현 회전속도성분의 반류분포가 좌 현에서는 증가가 되고 우현에서는 감소되는 현상 이 있으므로 우현의 날개수를 좌현보다 많이 배치

하여 수행한 모형시험결과를 좌현 전류고정날개 (port stator)와 비교한다면 확실하게 좌현 전류고 정날개의 효율향상을 알 수 있기 때문이다.

그림에서 보는 바와 같이 우현으로 편재된 전류 고정날개(starboard stator)는 전류고정날개가 없 는 시험결과와 비슷한 효율을 보여 효과가 거의 없음을 알 수 있다. 반면 본 논문에서 제안되어진 좌현으로 편재된 전류고정날개(port stator)가 설 계속도인 15.5knots에서는 고정날개가 없는 경우 와 우현으로 편재된 전류고정날개(starboard stator)보다 약 5.6%의 전달마력 감소가 기대됨을 알 수 있다

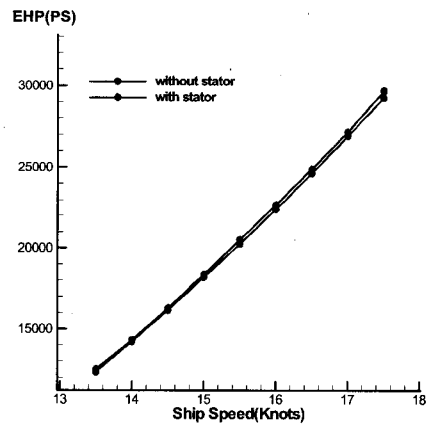


Fig. 15 Comparison of resistance between with stator and without stator

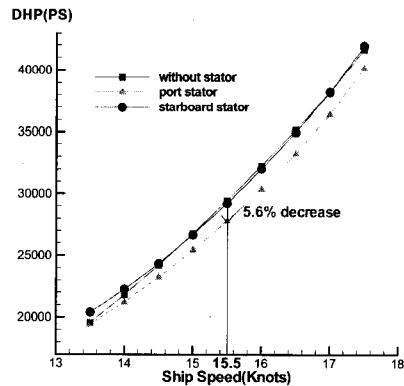


Fig. 16 Comparison of delivered horse power results w/o stator, port stator, and starboard stator

5. 결론 및 고찰

프로펠러 후류의 회전방향 운동에너지 손실을 회수하기 위한 편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템에 대한 최적 고정날개 설계과정, 모형시험에 의한 검증, 그리고 모형시험 결과로부터 실선 성능추정 과정과 같은 일련의 과정을 기술하였다.

본 논문에서는 대상선(300K VLCC)의 추진효율 향상을 위하여 편재된 비대칭형 전류고정날개 추진시스템을 개발된 프로그램을 이용, 설계하여 모형시험을 수행하였다.

설계 및 모형시험 과정별 중요 결과는 다음과 같다.

1) 저속비대선의 경우 선미형상으로 인해 프로펠러 면으로 선저를 따라 올라오는 흐름이 발생하여 우현의 경우는 프로펠러 회전에 의한 회전류를 상쇄시키고 좌현은 반대로 증가시키는 현상이 있기 때문에 본 논문에서 제안하는 새로운 전류고정날개는 우현 날개를 1개, 좌현 날개를 3개를 배치하여 전체적으로 고르게 회전에너지를 흡수하기 위한 개념으로써 설계 하였다.

2) 볼 균일 선미후류에 맞추어 각각의 날개별로 반경별 피치 각을 다르게 하여 고정날개 추진시스템을 설계 제작하여 모형시험을 수행하였다.

3) 모형시험은 본 논문에서 제안한 좌현 고정날개 뿐만 아니라 비교를 위하여 우현 고정날개에 대한 저항·저항시험을 수행하였다.

4) 추정된 실선의 전달마력(DHP)은 좌현 전류고정날개(port stator)를 장착하였을 경우, 설계속도인 15.5knots에서는 5.6%의 전달마력 감소가 기대된다.

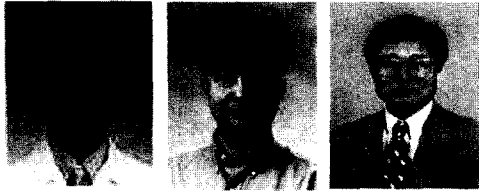
5) 모형시험 결과보다 정도 높은 설계를 위해서는 정확한 실선 유효반류 추정이 매우 중요하다. 개발된 전류고정날개 추진시스템을 실선에 장착하여 성능을 확인하고 프로펠러 주위유동을 계측할 수 있다면 더 많은 마력 절감을 기대할 수 있으리라 판단된다.

후 기

본 논문은 내용은 공학석사 학위논문 중 일부내용과 한국과학재단의 우수연구센터(ASERC)지원과제의 일부로 수행된 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김문찬, 이진태, 서정천, 김호충, 1993, "비대칭형 전류 고정날개 추진 시스템 연구," 대한조선학회 논문집, 제30권, 제1호, pp. 30-44.
- 반석호, 김문찬, 이진태, 1993, "전류고정날개 추진시스템의 저항 추진성능 추정방법 비교," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp.386-391.
- 양지만, 박기현, 김호철, 서정천, 박영민, 2001, "프로펠러와 선체와의 상호작용에 대한 전류고정날개의 효과," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp.151-154.
- 양지만, 김광, 박기현, 김호철, 서정천, 박영민, 2001, "프로펠러와 선체와의 상호작용에 대한 전류고정날개의 효과 (2)," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp.216-219.
- 이진태, 김문찬, 반석호, 김기섭, 김호충, 1993, "30만톤 초대형 유조선을 위한 전류고정날개 추진 시스템 개발," 대한조선학회 논문집, 제31권, 제1호, pp.1-13.
- 이진태, 김문찬, 서정천, 김수형, 최진근, 1992, "추진 효율 향상을 위한 고정날개-프로펠러 추진 시스템 개발 : 대칭형 고정날개 추진 시스템," 대한조선학회 논문집, 제29권, 제4호, pp.132-145.
- ITTC committee, 1987, "Report of the Powering Performance Committee," Proceeding of 18th ITTC, Kobe.
- 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, pp. 74-84.



< 강 용 덕 >

< 김 문 찬 >

< 전 호 환 >