

大韓造船學會論文集
 第28卷 第2號 1991年 10月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol.28, No.2, October 1991

새로운 날개단면을 이용한 프로펠러 설계법 - 컨테이너선에 응용 -

이진태*, 김문찬*, 안중우*, 반석호*, 김호충**

A Propeller Design Method with a New Blade Section: Applied to Container Ships

by

J.T.Lee*, M.C.Kim*, J.W.Ahn*, S.H.Van* and H.C.Kim**

요 약

캐비테이션 특성이 우수하고 추진효율이 높은 컨테이너선용 프로펠러를 설계하기 위하여 새로운 날개단면(KH18)을 이용한 프로펠러 설계법을 제안하였다. KH18 단면은 캐비테이션 초생곡선(Cavitation-free bucket diagram) 및 양력-항력곡선(Lift-drag curve)에서 폭이 넓어 불균일한 선미후류에서 작동되는 선박용 프로펠러의 날개 단면으로 적당하리라 판단되었다.

새로운 날개 단면을 이용한 컨테이너선의 프로펠러 설계를 위하여 양력면이론을 사용하였다. 프로펠러 설계시 코오드 방향 부하분포를 설계변수로 선택하여 5개의 프로펠러를 설계하였고, 단면 변화의 영향을 비교하기 위하여 NACA형 단면을 갖는 프로펠러를 설계하여 예인수조 및 캐비테이션 터널에서 모형시험을 수행하였다.

모형시험 결과 코오드 방향 부하분포가 프로펠러 반경의 70% 내부에서는 날개 앞날의 부하가 적고 그 외부에서는 날개 앞날부하가 상대적으로 큰 코오드방향 부하분포를 갖는 프로펠러(KP197)가 NACA 단면을 갖는 프로펠러에 비하여 추진효율은 1% 향상되었고 캐비테이션 발생량은 30% 감소하였으며 선체변동압력은 9% 감소하였다. 새로운 날개단면을 갖는 프로펠러의 캐비테이션 특성이 우수함을 고려하여 날개 전개면적비를 감소시킨다면 더 많은 추진효율 증가를 기대할 수 있으리라 판단된다.

Abstract

A Propeller design method using the newly developed blade section(KH18), which behaves better cavitation characteristics, is presented. Experimental results for two-dimensional foil sections show

접수일자: 1990년 11월 22일, 재접수일자: 1991년 3월 15일

* 정회원, 한국해사기술연구소

** 정회원, 대우조선공업(주)

that the lift-drag curve and the cavitation-free bucket diagram of the new blade section are wider comparing to those of the existion NACA sections. This characteristic of the new section is particularly important for marine propeller applications since angle of attack variation of the propeller blade operating behind a non-uniform ship's wake is relatively large.

A lifting surface theory is used for the design of a propeller with the developed section for a 2700 TEU container ship. Since the most suitable chordwise loading shape is not known *a priori*, chordwise loading shape is chosen as a design parameter. Five propellers with different chordwise loading shapes and different foil sections are designed and tested in the towing tank and cavitation tunnel at KRISO.

It is observed by a series of extensive model tests that the propeller(KP197) having the chordwise loading shape, which has less leading edge loading at the inner radii and more leading edge loading at the outer radii of 0.7 radius, has higher propulsive efficiency and better cavitation characteristics. The KP197 propeller shows 1% higher efficiency, 30% cavitation volume reduction and 9% reduction of fluctuating pressure level comparing to the propeller with an NACA section. More appreciable efficiency gain for the new blade section propeller would be expected by reduction of expanded blade area considering the better cavitation characteristics of the new blade section.

Nomenclature

Symbol	Definition
A_i/A_0	Expanded area ratio
C	Chord length of propeller blade section
C_D	Section drag coefficient
C_L	Section lift coefficient
f_0	Maximum camber of propeller blade section
J_s	Advance ratio based on propeller inflow velocity, V_a/nD
K_T	Propeller thrust coefficient
K_Q	Propeller torque coefficient
n	Propeller rotational speed, <i>rps</i>
P_s	Approximate full scale total fluctuating pressure, $P_s = \sqrt{P_1^2 + 2P_2^2 + 3P_3^2 + 4P_4^2}$
P_i	The <i>i</i> -th harmonic component of fluctuating pressure(model scale)
P/D	Pitch-diameter ratio
R_n	Reynolds number
t_0	Maximum thickness
α	Angle of attack
Γ	Radial circulation strength
γ	Chordwise vortex strength
σ_0	Cavitation number

$\sigma_{no. 7R}$	Cavitation number at 0.7R based on n , $(p - p_v) / \frac{1}{2} \rho n^2 D^2$
η_h	Hull efficiency
η_o	Propeller open water efficiency
η_r	Relative rotative efficiency

1. 서 론

한국해사기술(연)에서는 새로운 날개단면의 개발 및 개발된 단면을 이용한 프로펠러 설계법에 대한 연구를 1984년부터 수행하여 왔으며, 넓은 받음각의 변화에서 양력-항력특성 및 캐비테이션 특성이 우수한 새로운 날개 단면(KH18)을 개발한 바 있다[1,2,3]. 불균일한 선미후류에서 작동하는 프로펠러의 각 반경별 단면은 받음각의 변화가 큰 상태에서 작동하므로 KH18 단면의 이러한 특성은 매우 중요하다.

새로운 날개단면 개발과정, 개발된 날개단면의 특성 및 개발된 날개단면을 이용한 프로펠러 설계법에 대하여서는 이미 본 학회지에 발표한 바 있다[4]. 본 논문에서는 선택된 대상선(컨테이너선)의 프로펠러를 개발된 날개단면을 이용하여 설계하는 과정이 기술되었고, 새로운 날개단면을 이용한 프로펠러의 우수한 성능을 검증하기 위한 일련의 모형시험 과정이 기술되었다.

일반적으로 씨리즈 프로펠러를 이용하여 프로펠러를 설계하는 경우는 기존 기준 제원들을 이용하여 획일적으로 설계하기 때문에 기존 모형시험 결과를 토대로 성능을 비교적 잘 추정할 수 있는 잇점이 있는 반면 효율과 캐비테이션을 동시에 고려한 최적 설계를 수행하기에는 어려움이 있다. 최근 양력면 이론을 이용하여 프로펠러의 상세설계를 수행할 수 있는 프로그램들[5,6,7]이 개발됨에 따라 설계자가 원하는 반경방향 및 코오드방향 부하모양에 맞도록 반경방향별로 피치와 캠버를 조절하여 프

로펠러를 설계하고 있다. 기존 NACA 단면을 이용한 프로펠러 설계의 경우 코오드 방향 기준 부하형상($a = 0.8$ mean loading)에 맞추어 설계를 수행하고 있다. 새로운 날개단면을 이용한 프로펠러 설계시에는 코오드방향 최적형상을 미리 알지 못하므로 이론계산 및 실험에 의한 검증에 의해 최적 부하형상을 결정하여야 한다.

본 연구에서는 개발된 날개단면을 이용한 프로펠러 설계시 최적 코오드 방향 부하형상을 결정하기 위하여 이를 설계 변수로하여 프로펠러를 설계, 제작하였고 모형시험을 수행하여 성능이 가장 우수한 프로펠러를 선정하였다. 개발된 단면의 우수성을 입증하기 위하여 NACA 단면을 갖는 프로펠러를 설계, 제작하였으며 이에 대한 실험도 아울러 병행하였다.

2. 새로운 날개단면 개발

선박용 프로펠러의 날개단면으로 널리 쓰이고 있는 NACA 계열의 단면은 항공분야에서 개발되어 널리 쓰이고 있는 날개단면으로써 선박용 프로펠러의 특성을 충분히 고려하여 개발된 단면이라고 보기 어렵다. 선박용 프로펠러는 선체 후류에 위치하기 때문에 선미반류에서 작동할시 날개가 회전하면서 입사각 변화가 항공용 프로펠러에 비하여 매우 큰 편이다. 또한 프로펠러 날개표면 압력이 물의 증기압보다 낮아지면 캐비테이션이 발생하게 되어 날개손상, 효율감소 및 선체변동압력 증가와 같은 현상이 발생하게 된다.

제19차 ITTC 추진기 분과위원회에서도 새로운 날개단면 개발에 의한 프로펠러 설계법을 *Transactions of SNAK, Vol. 28, No. 2, October 1991*

중요 연구과제로 선정하여 3차에 걸친 New Blade Section Workshop을 개최한 바 있다[8]. 당 연구소에서도 이러한 추세에 발맞추어 1984년부터 과기처 국가특정연구[9,10]로 새로운 날개단면 개발에 대한 연구를 수행하여 왔으며 1987년에는 소형 고속선의 프로펠러를 대상으로 하여 연구를 수행하였고[11], 1988년에는 저속 대형 산적화물선의 프로펠러를 대상으로 연구를 수행하였으며 [2], 본 연구에서는 고속 콘테이너선을 대상으로 연구를 수행하였다.

개발된 KH18 단면은 두께분포와 캠버분포의 중점으로 생각할 수 있는데 두께분포는 KT18, 캠버분포는 KC18로 명명하였다. KT18 두께분포와 NACA 계열의 두께분포를 비교한 그림을 Fig.1에 보였다. KT18 두께분포는 NACA66 및 NACA16 두께분포에 비하여 최대두께의 위치가 날개 앞날방향으로 이동되어 있음을 알 수 있다. 또한 날개 앞날에서의 두께가 상대적으로 증가하였기 때문에 날개 표면 압력분포의 기울기가 완만하여지고 최소 압력값의 절대값이 상대적으로 낮아지기 때문에 캐비테이션 초기발생이 지연될 것으로 판단된다.

KC18 캠버분포와 NACA a=0.8 캠버분포를 Fig.2에 비교하였다. a=0.8 캠버분포의 기울기는 앞날에서 발산하게 되는 특이성질(Singular behavior)을 갖기 때문에 점성을 갖는 실제 유체에서는 좋지 못한 특성을 갖는다고 사료된

다. KC18 캠버분포는 a=0.8 캠버분포에 비하여 날개앞날에서의 기울기를 감소시키고 그에 따른 분포를 날개 뒷날 방향으로 이동하였다.

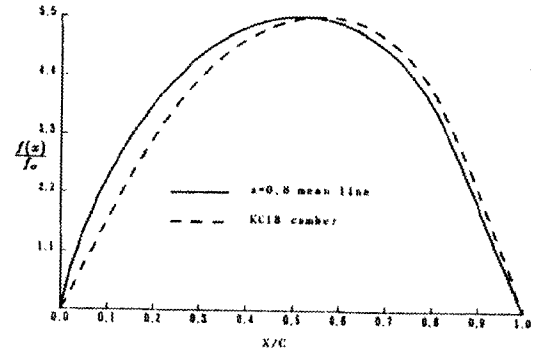


Fig. 2 Comparison of the camber distributions of foil section

2차원 KH18단면 주위유동에 관한 실험적 및 이론적 성능해석 결과는 이진태 외[2]에 발표된 바 있으며 중요결과를 요약하면 다음과 같다.

- KH18단면의 캐비테이션 초생곡선(Cavitation-free bucket diagram, Fig.3)의 폭이 기존 우수단면인 NACA66 및 NACA16단면에 비하여 넓어, 불균일 선미 후류에서 작동할 시 예상되는 받음각의 변화에서 상대적 캐비테이션 발생량이 적을 것으로 예상된다.

- KH18단면의 양력-항력곡선(Drag polar curve, Fig.4)에서 보이는 바와 같이 넓은 범위의

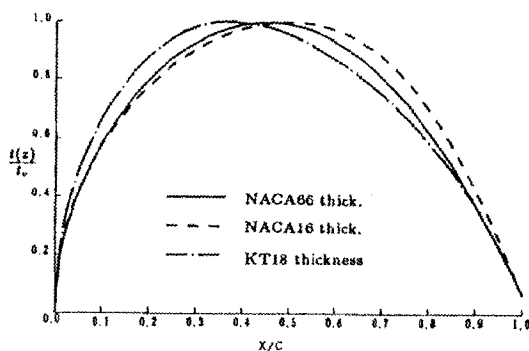


Fig. 1 Comparison of the thickness distributions of foil section

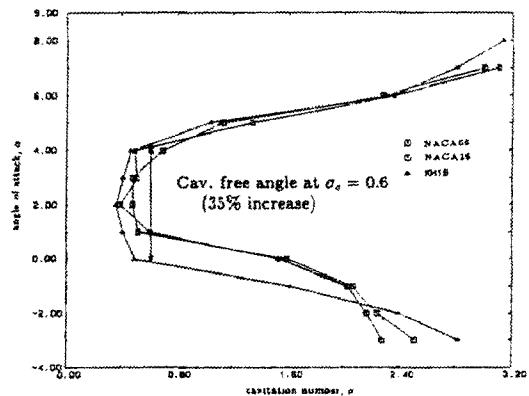


Fig. 3 Comparison of cavitation free bucket ($R_e = 0.965 \times 10^6$)

양력계수에서 기존 우수단면에 비하여 항력계수가 낮기 때문에 받음각의 변화가 예상되는 선미후류에서 작동되는 프로펠러의 날개단면으로 사용되면 추진 효율이 높을 것으로 판단된다.

Fig.3과 Fig.4에서 보인 KH18단면의 특징은 음의 받음각인 경우에 기존 단면에 비하여 특성이 우수하다는 점이다. 이는 두께 분포가 앞날 부근으로 치우쳐 있어 그 부근의 압력분포가 상대적으로 완만하기 때문이다. 또한 앞날에서 캠버분포의 기울기가 완만하기 때문에 음의 받음각일 경우에도 흡입면에서 과도한 압력구배가 형성되지 않기 때문이라 판단된다.

3. 개발된 단면을 이용한 프로펠러 설계법

본절에서는 우수단면으로 선택된 KH18 단면을 이용하여 프로펠러를 설계하기 위한 방법

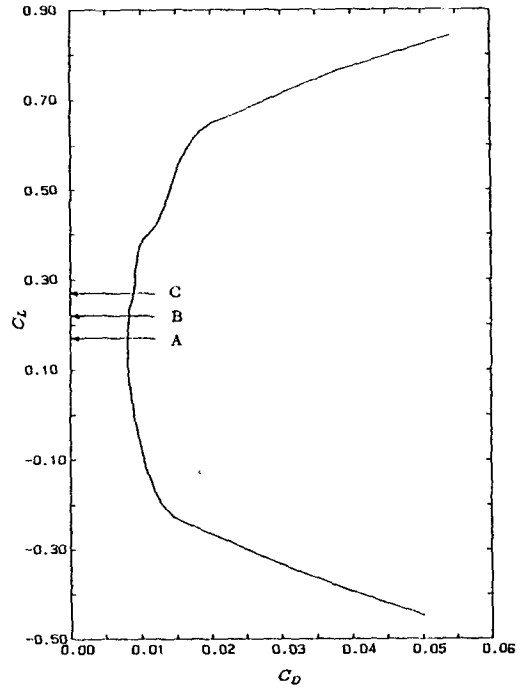


Fig. 5 Design point selection on the drag polar curves of KH18

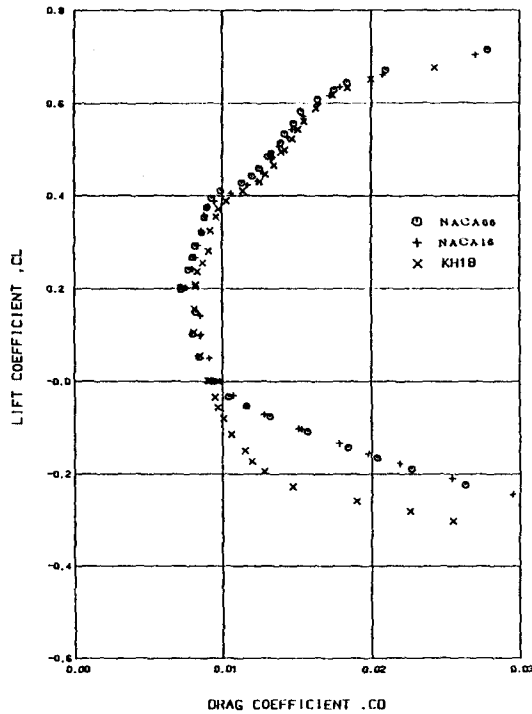


Fig. 4 Comparison of C_L-C_D bucket diagram by experiment

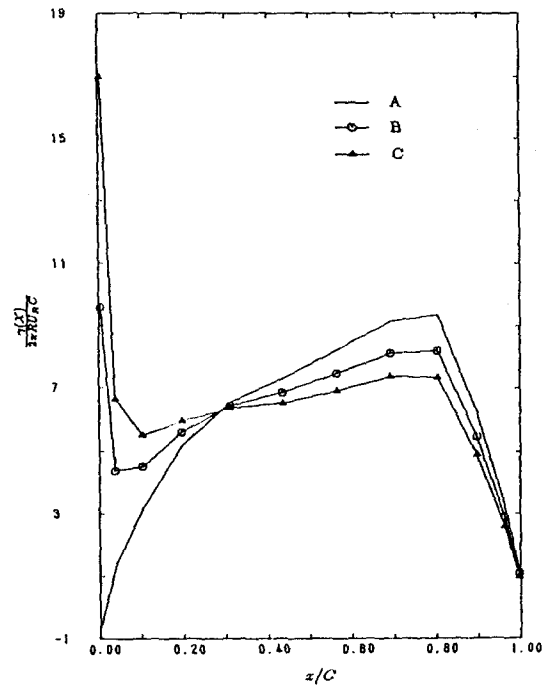


Fig. 6 Chord-wise loading distribution types corresponding to the selected points

을 고찰하였다. 원칙적으로 새로운 날개단면을 이용한 프로펠러 설계법은 3차원 프로펠러 날개 표면에서의 이상적인 압력분포를 입력하여 프로펠러 형상을 결정하는 과정이 필요하다. 현재의 기술수준은 3차원 프로펠러의 압력분포를 정밀하게 해석하는 방법이 확립되어 있지 못하고 더구나 압력분포를 입력으로 하여 프로펠러 형상을 결정하는 방법은 시도되지 못하고 있다. 현재 프로펠러 설계는 주어진 반경방향 및 코오드방향의 부하분포를 만족 시키기 위하여 양력면 이론[6]을 사용하여 각 반경에서의 피치와 캠버를 결정하는 방법을 채택하고 있다.

새로운 날개단면을 이용한 프로펠러 설계 또한 기존 양력면 이론을 이용하여 주어진 반경방향 및 코오드 방향 부하분포를 갖도록 프로펠러의 형상을 결정할 수 있게 하였다. 그러나 KH18 날개단면의 경우에는 코오드 방향의 최적 부하분포를 결정하기가 용이하지 않다. 코오드방향 최적 부하분포를 결정하기 위하여 Fig.5에 보인 양력-항력 곡선에서 3개의 기준점을 결정하여 각 기준점에서의 코오드방향 부하분포를 Fig.6에 표시하였다. 코오드방향 부하분포는 대응되는 점의 반음각에서 KH18 단면을 표면 양력판이론에 의하여 계산하였다.

부하분포 형상 A는 날개 앞날에 부하가 적고 상대적으로 날개 뒷날 부근에 부하가 많게 설계되었다. A형 코드 부하분포를 갖는 프로펠러는 캐비테이션 초기발생이 지연되고 캐비테이션 발생량이 상대적으로 적을 것으로 예상되나 프로펠러 회전수가 높고 선속이 빠른 콘테이너선의 프로펠러와 같이 캐비테이션 발생을 피할 수 없을 경우에는 캐비테이션 거동이 좋지 못하게 될 것으로 예상된다. C형 코드 부하분포를 갖는 프로펠러는 날개 앞날에 부하가 집중되었기 때문에 캐비테이션이 일찍 발생하고 동일 조건에서 캐비테이션 양이 많을 것으로 예상되나 캐비테이션 거동은 안정되어 캐비테이션에 의한 폐해가 오히려 감소할 것으로 예상된다. 코드방향 부하분포의 기준을 A, B,

C형 중의 어떠한 형을 선택할 것인가는 선종 및 운항조건을 고려하여 선택하여야 될 것으로 사료된다.

코드방향 기준 부하형상이 결정되면 양력면 이론에 의하여 각 단면이 평균 입사류에서 기준 부하형상에 맞도록 캠버와 피치량을 조절하여 프로펠러를 설계한다. 즉 2차원 KH18 단면의 우수한 특성을 3차원 프러펠러에서도 각 반경별 단면에서 동일하게 유지시키기 위하여 양력면 이론을 이용하여 코드방향 부하분포를 동일하게 유지시켰다. 이러한 설계개념에 의한 프로펠러 설계과정 계통도를 Fig.7에 표시하였다.

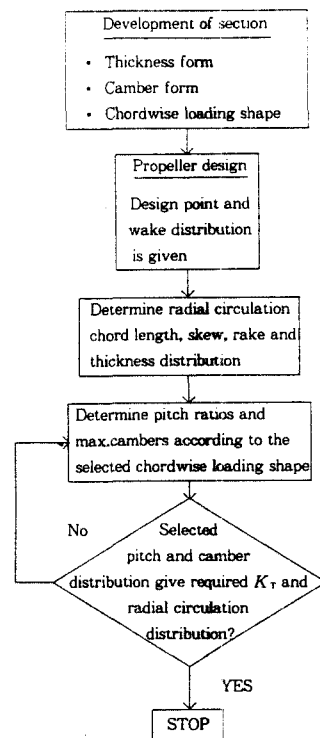


Fig. 7 Flow chart of the designed procedures with the new blade section

4. 대상선 선정 및 프로펠러 설계

KH18 단면을 이용한 프로펠러 설계를 수행하기 위하여 대상선으로 Container선(2700TEU)을 선택하였으며 대상선에 대한 프로펠러 설계를 Fig.7의 설계과정 계통도에 따라 코오드방향 부하형상 변화, 날개끝에서의 부하정도 그

리고 전개면적비 및 날개단면의 변화를 주어 5개의 프로펠러를 각각 설계하였다. 재고 프로펠러로 사용되었던 KP145 프로펠러의 형상을 자료정리의 목적상 Table 1에 정리하였다.

설계된 5개 프로펠러의 단면을 제외한 제원들은 개발된 단면의 특성만을 확실하게 알 수 있도록 대부분 같게 하였으며 전개면적비의 경우 모두 0.55로 하였고 KP198 프로펠러만 0.58로 하였다. 반경방향의 스퀴분포는 대상선의 반류분포를 고려하여 결정하였고 반경방향의 코드 길이 분포는 날개끝부분에서 상대적으로 증가시킴으로서 캐비테이션 성능이 보다 우수하도록 하였다.

KP190 프로펠러는 Fig.6에 보인 C형 부하분포를 맞추어 설계되었고 KP191 프로펠러는 A형 부하분포를 맞추어 설계되었다. KP197 프로펠러는 0.7R 보다 적은 반경에서는 A형 부하분포를, 0.7R 보다 큰 반경에서는 C형 부하

분포를 갖도록 설계되었다. 이는 A형 부하분포를 갖는 프로펠러가 추진효율의 관점에서 유리하나 날개끝 부근에서는 보다 안정된 캐비테이션 거동을 보이는 C형 부하를 갖도록 설계되었다. KP198프로펠러는 KP197프로펠러와 같은 부하분포를 갖도록 설계되었으나 전개면적비만 0.58로 증가시켰다. 또한 단면 특성을 확인하기 위하여 NACA66(TMB Mod.) 두께분포와 $a = 0.8$ 캠버분포를 갖는 프로펠러를 설계하여 KP192로 명명하였다.

반경방향 부하분포는 5개의 프로펠러가 거의 같은 분포를 갖도록 설계되었다. Fig.6에 보인 A형 및 C형 코드방향 부하분포를 3차원 프로펠러에서 정확히 재현한다는 것은 쉬운일이 아니어서 개략적인 부하분포를 맞추어 피치분포와 캠버분포를 설계하였다. KH18 단면을 갖는 3개 프로펠러(KP190, KP191, KP197)의 0.7R 및 0.9R에서의 코드방향 부하분포를 Fig. 9 및 Fig.10에서 각각 비교하였고 그때의 반경방향 피치분포 및 캠버분포를 Fig.11 및 Fig.12에서 비교하였다. KP192 프로펠러의 피치분포 및 캠버분포는 $a=0.8$ 의 부하형상을 갖도록 결정되었다. 설계된 KH18형 프로펠러와 NACA형 프로펠러의 단면의 모습을 Fig.13에 보였다.

5. 결과해석

설계된 프로펠러들에 대한 성능을 평가하기 위하여 추진효율, 캐비테이션 발생량 및 거동 그리고 변동압력의 세기를 기준으로 비교 평가하였다.

대상선에 대한 프로펠러 설계가 끝나면 이에 대한 추진 성능평가를 자항시험을 통하여 수행할 수 있다. 모형선은 축척비 1/30.6으로 제작하였으며 직경 1.2mm의 stud를 19스테이션 및 선수 bulb의 중간에 높이 2mm, 간격 10mm를 갖도록 부쳐서 난류를 촉진하였다. 실선의 저항은 Froude의 가정에 근거하여 1957 ITTC 모형선 실선 상관곡선을 사용하여 추정하였으며 자항계수의 축척효과는 1978 ITTC Power Prediction Method를 사용하여 구하였고 이때 C_A

Table 1 Principal characteristics of stock propeller(KP145)

Propeller No.	KP145		Propeller Name	KP145			
Designed by			Ship Name	CONTAINER			
Propeller Type	EPP	No. of Propeller	SINGLE				
Diam.(Model)	254.902mm	Scale Ratio(λ)	30.600				
A_E/A_0	.5485	$(P/D)_{mean}$	1.0244				
Skew($^\circ$)	24.00	Rake($^\circ$)	.00				
Section Type	NACA	Hub Ratio	.1800				
No. of Blades	4		Comment				
r/R	P/D	X_m/D	$\theta_m(^\circ)$	l/D	$f_0/D(10^3)$	$t_0/D(10^3)$	f_0/t
.20	.8070	.0000	.03	.2153	13.28	43.80	.0617
.25	.8640	.0000	.05	.2357	11.53	40.50	.0489
.30	.9130	.0000	.16	.2525	9.95	37.30	.0394
.40	.9970	.0000	.73	.2780	7.56	31.30	.0272
.50	1.0560	.0000	1.90	.2949	6.01	25.60	.0204
.60	1.0910	.0000	3.88	.3045	5.24	20.30	.0172
.70	1.1000	.0000	6.87	.3077	4.86	15.50	.0158
.80	1.0770	.0000	11.08	.2901	4.64	11.00	.0160
.90	1.0030	.0000	16.73	.2293	4.15	6.90	.0181
.95	.9430	.0000	20.15	.1701	3.40	5.00	.0200
1.00	.9030	.0000	24.00	.0000	.00	3.20	.0000

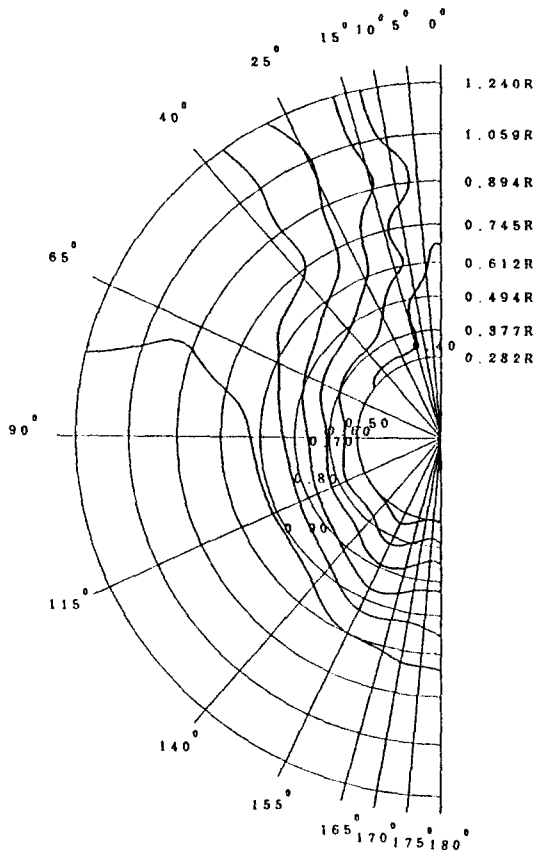


Fig. 8 Iso-axial velocity curves of the simulated wake for container ship

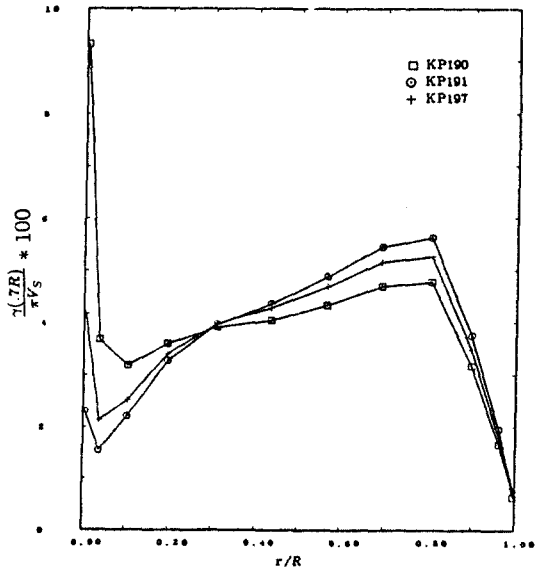


Fig. 9 Comparison of chord-wise loading distributions at $0.7R$

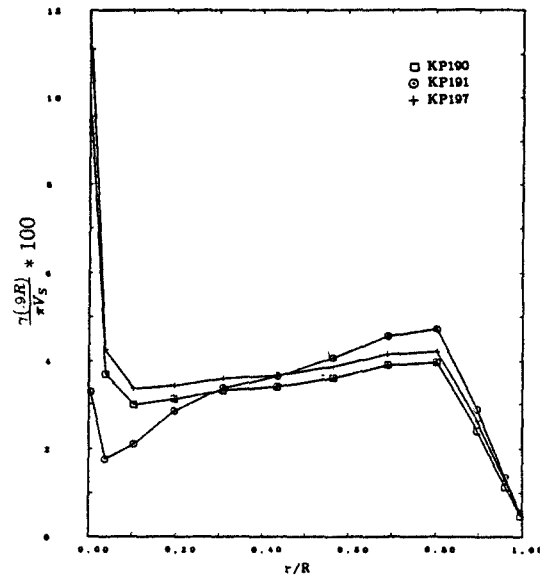


Fig. 10 Comparison of chord-wise loading distributions at $0.9R$

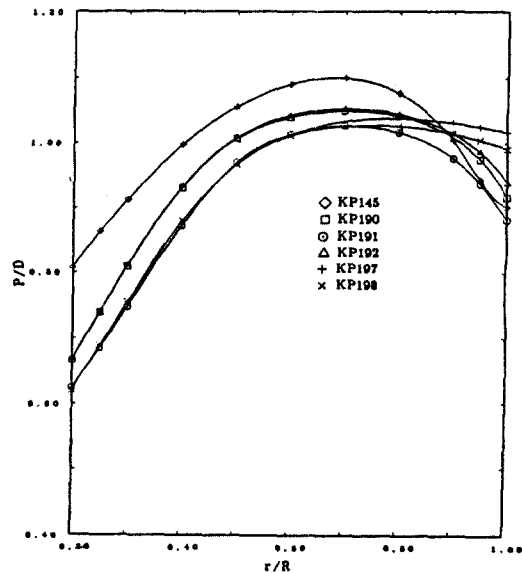


Fig. 11 Comparison of the designed pitch distributions

는 -0.2×10^{-4} 을 적용하였다. 대상선에 대한 저항시험은 만재흘수상태에서 수행되었다. 설계된 여러 프로펠러에 대한 저항시험을 동시에 수행하기가 어려우므로 각 시험의 정확성 및 신뢰도를 높이기 위하여 기준 프로펠러를 선택하여(KP145) 시험시마다 기준 프로펠러에 대

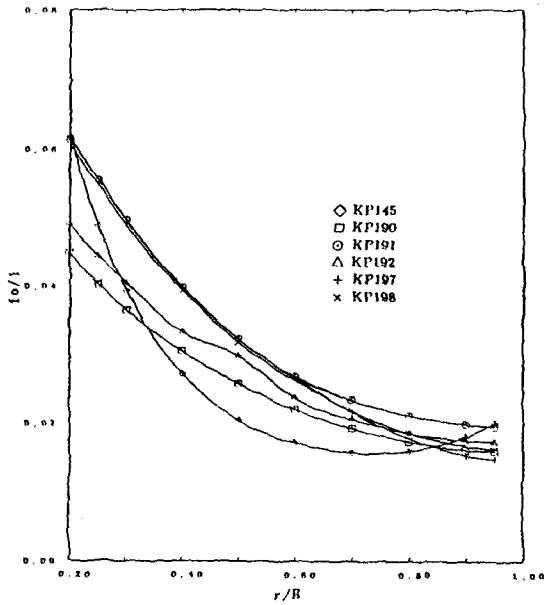


Fig. 12 Comparison of the designed camber distributions

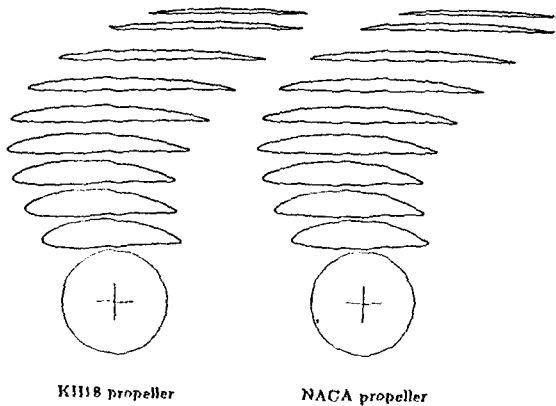


Fig. 13 Comparison of NACA and KH18 sections

한 시험결과로부터 재현성을 확인한 후 새로 설계 제작된 추진기에 대한 시험을 수행하였다.

6개 프로펠러에 대한 자항시험 결과를 각 자항요소별로 Table2에 정리하였다. 상대적인 효율을 비교하면 단독효율은 KP145(NACA, stock)프로펠러가 크게 나타났으며 상대회전효율은 KP190(KH18, C형) 및 KP191(KH18, A형)이 높게 나타났고 전체추진효율의 관점에서는 KP191 및 KP197(KH18, A+C형)이 높게

Table 2 Comparison of self propulsion results

SHIP	2700TEU container ship (design speed : 22.5knots)					
	Propeller {Section}	KP145 (NACA)	KP190 (KH18)	KP191 (KH18)	KP192 (NACA)	KP197 (KH18)
J	0.779	0.736	0.750	0.747	0.752	0.747
t	0.173	0.212	0.188	0.202	0.186	0.188
w_s	0.225	0.256	0.243	0.249	0.244	0.245
η_H	1.067	1.060	1.072	1.063	1.077	1.076
η_R	0.988	1.011	1.012	1.008	1.009	1.001
η_O	0.724	0.706	0.714	0.707	0.704	0.697
η_D	0.764	0.756	0.775	0.758	0.765	0.750
$\frac{P_D}{(P_D)_{KP145}}$	1.000	1.010	0.986	1.008	0.998	1.018
V_s	22.54	22.48	22.62	22.50	22.55	22.44

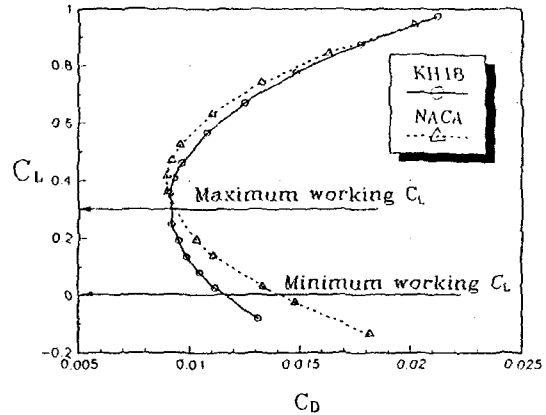


Fig. 14 Comparison of C_L-C_D bucket diagram by computer program

나타나 C형 보다는 A형이 효율의 측면에서 우수하리라 생각된다. 비교적 NACA형 프로펠러들의 단독특성이 우수한 것은 Fig.4에서 보인 바와 같이 NACA형 단면의 양력-항력 Bucket Diagram이 폭은 좁은 반면 깊이가 약간 깊어 받음각의 변화가 심하지 않은 경우 프로펠러 단독시험 상태에서는 효율이 좋을 수 있다고 생각된다.

표면 양력판 이론 및 경계층 이론에 의한 2차원단면 해석 방법[12]에 의해 실제 프로펠러의 0.8R 단면에 대한 성능해석을 수행하

였다. 대상단면은 KP192프로펠러의 0.8R단면 (NACA, $f_o / C = 0.0186$, $t_o / C = 0.0364$)과 KP197 프로펠러의 0.8R 단면 (KH18, $f_o / C = 0.0179$, $t_o / C = 0.0364$)으로 계산결과를 Fig.14에 보였다. 이때 최대, 최소 양력계수는 프로펠러가 불균일 반류 중에서 작동할 때, 0.8R단면의 양력 변화를 말하며 이를 2차원단면에 대응되도록 치환 하였다. Fig.4에서 보인 양력-항력 곡선의 실험치와 비교해 볼때 정성적으로 잘 일치하고 있으며 NACA단면에 비해 KH18단면의 양력-항력 곡선의 폭이 넓은 사실을 볼 수 있다.

캐비테이션 시험을 위해 사용된 반류분포는 Fig.8에 나타나 있으며, 이 반류분포를 이용하여 모든 프로펠러들의 캐비테이션 관찰 및 변동압력 계측시험을 수행하였다. KH18 단면을 사용하여 제작된 프로펠러들과 NACA단면을 사용한 프로펠러의 캐비테이션을 공정하게 비교하기 위하여 시험 조건을 KP191프로펠러의 자항조건을 기준으로 하여 $K_T / J_a^2 = 0.3618$ 과

$\sigma_{n,7R} / J_a^2 = 3.507$ 의 값이 동등한 점에서 K_T 와 $\sigma_{n,7R}$ 을 계산하였다. J_a 값은 각 프로펠러의 단독시험 결과로부터 K_T / J_a^2 와 J_a 의 관계에서 구하였다. 각 프로펠러들의 캐비테이션 시험 조건 및 시험결과를 Table 3에 요약하였다.

반류분포중에서 작동하는 프로펠러들의 최대 캐비테이션 발생 면적을 Fig.15에 비교하였다. Table 3과 Fig.15에서 볼 수 있듯이 캐비테이션 양에 있어서 KP192(NACA) 및 KP145(NACA)가 많았고 KH18형 프로펠러들은 대체로 30% 정도가 적게 나타남을 보여주고 있다. 그러나 캐비테이션의 특성면에서 볼때 KP191(KH18, A형) 프로펠러가 대체로 불안정한 특성을 보였다. 이러한 이유는 A형부하분포는 부하가 뒷부분에 집중되어 캐비티가 날개 앞날에서 부터 생성되지 못하기 때문으로 사료된다. 또한 C형 부하분포를 갖는 프로펠러들의 캐비테이션 범위가 큰것은 부하분포가 앞날에 집중되어 최소 압력계수 절대값이 크기때

Table 3 Cavitation characteristics, fluctuating pressure and test conditions for the designed propellers

No.	KP190(KH18-C type)		KP191(KH18- A type)		KP192(NACA section)		KP197(KH18-A+C type)		KP198(KH18-A+C type)	
Ja	0.7230		0.7251		0.7290		0.7175		0.7230	
Kt	0.1891		0.1902		0.1923		0.1924		0.1891	
$\sigma_{n,7R}$	1.833		1.844		1.864		1.846		1.833	
RPM	93.75		93.48		92.98		93.41		93.75	
Extent	35% (범위: -40도 ⇒90도)		33%(범위 -35도 ⇒도)		44%(범위: -50도 ⇒90도)		30%(범위: -50도 ⇒90도)			
변 동 압 력 (KP_s)	P1	1.125	P1	1.1847	P1	1.111	P1	1.470	P1	1.146
	P2	1.033	P2	1.2301	P2	1.028	P2	1.079	P2	0.966
	P3	0.884	P3	0.9691	P3	0.980	P3	0.529	P3	0.743
	P4	0.391	P4	0.2907	P4	0.360	P4	0.197	P4	0.220
	P_s	9.452	P_s	10.21	P_s	9.576	P_s	8.720	P_s	8.410
비 고	<ul style="list-style-type: none"> 최대 Extent 위치 : 10도 사라지는 거동 약간 좋지않음 		<ul style="list-style-type: none"> 최대 Extent 위치 : 20도 30도에서 40도로 변화하는 Extent와 모양이 급격함 (20% ⇒10%) 		<ul style="list-style-type: none"> 최대 Extent 위치 : 10도 사라지는 거동 약간 좋지않음 		<ul style="list-style-type: none"> 최대 Extent 위치 : 10도 사라지는 거동이 다른 Propeller에 비해 상당히 좋음 		<ul style="list-style-type: none"> 변동압력만 계측 	

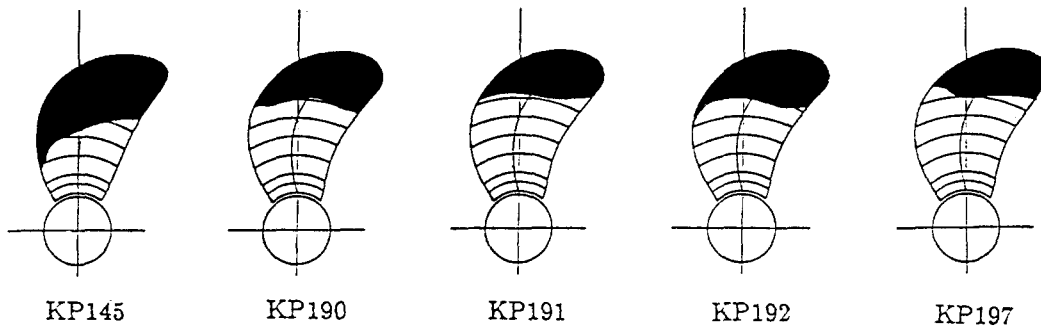


Fig. 15 Comparison of maximum cavitation extent for the designed propellers

문으로 생각된다. KP197 프로펠러(KH18, A+C)는 $0.7R$ 내부반경에서는 A형 부하분포를 $0.7R$ 외부반경에서는 C형 부하분포를 기준으로 설계되었기 때문에 날개끝 부근에서 생성되는 캐비티의 거동을 안정되게 조절할 수 있었고 전체적인 캐비티의 발생량도 최소한으로 할 수 있었다.

Fig. 16은 프로펠러들의 변동압력 측정시험 결과를 보여주는데, KP197 프로펠러와 KP198 프로펠러의 변동압력 특성이 가장 좋은 것으로 나타났다. 모든 프로펠러는 프로펠러 연직상방에서 최대 변동압력 값을 나타냈는데, 그곳에서의 변동압력 시험 결과를 Table 3에 정리하였다. Table 3에서 살펴보면 캐비테이션 발생면적 및 발생범위가 변동압력에 미치는 영향보다는 캐비테이션 거동이 변동압력에 미치는 영향이 크다는 것을 잘 보여주고 있다. KP197 프로펠러의 1차 날개진동수 변동압력 성분은 다른 프로펠러에 비해 24%–32% 정도 크지만

캐비테이션 거동이 좋은 관계로 3차 날개진동수 변동압력이 다른 프로펠러에 비해 67%–85%정도 감소해 전체 변동압력은 다른 프로펠러에 비해 8%–17%정도 감소되었다.

위와같은 결과를 종합해 볼때 KP197프로펠러가 효율, 캐비테이션 및 변동압력의 측면에서 우수한 특성을 가지고 있다고 사료되며 콘테이너선의 프로펠러 설계는 KP197프로펠러를 설계한 개념과 같은 개념으로 설계법을 정립함이 타당하리라 생각된다.

6. 결 론

콘테이너선을 대상으로 캐비테이션 특성 및 우수한 프로펠러를 설계하기위한 일련의 계산 및 실험을 수행하여 새로운 프로펠러 설계법을 제안하였다.

캐비테이션 초생곡선 및 양력-항력 곡선에서 폭이 넓어 변화되는 받음각에서 우수한 성능을 보인 KH18 단면을 사용하여 프로펠러를 설계하였다. 새로운 단면을 사용한 프로펠러 설계법을 확립하기 위하여 2차원 단면 실험에서 양력-항력곡선의 기준점을 정하여 그때의 코드방향 부하 형상을 기준으로 각 단면에서의 피치 및 캠버 크기를 양력면 이론에 의해 결정하였다.

코오드방향 부하형상을 설계변수로 하여 5개의 프로펠러를 설계 하였으며 기존 단면과의 비교를 위해 NACA형 단면을 갖는 프로펠러를 설계하였다. 설계된 프로펠러들에 대한 모형실험을 수행한 결과 NACA형 프로펠러들은

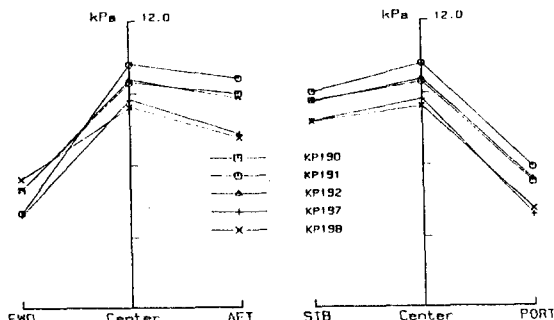


Fig. 16 Distribution of total fluctuating pressures of flat plate for the designed proellers

단독효율이 약간 우수한 반면 상대회전 효율이 나빠져서 전체적인 효율은 KH18단면을 갖는 프로펠러가 우수한 것으로 나타났다. 부하형상에 따른 효율의 관점에서는 A형 부하형상을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 캐비테이션 및 변동압력의 관점에서는 NACA형 프로펠러에 비하여 KH18형 프로펠러가 전체적인 캐비테이션의 양이 적으나, A형 부하형상의 경우 캐비테이션의 거동이 불안정하여 변동압력의 고차성분의 수치가 커져서 오히려 NACA형 프로펠러 보다 변동압력이 크게 나타났다.

위와같은 사실을 종합해 볼 때 전체효율을 위하여는 A형 부하분포를 사용하되 캐비테이션의 특성을 고려하여 7R이후에는 비교적 안정적인 캐비테이션 거동을 보이는 C형 부하분포를 사용함이 바람직함을 알 수 있다. 이러한 관점에서 추진효율과 캐비테이션 및 변동압력 특성이 우수한 KP197프로펠러를 콘테이너선의 프로펠러로 선택하였다.

후 기

본 연구는 과학기술처 특정연구사업및 대우조선(주)의 수락사업으로 수행되었으며 관련제 위게 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 이진태 외, “대우 표준 프로펠러 계열 개발 연구:중간보고서”, 한국기계연구소 보고서 BSI584-1030M.D, 1988.
 [2] 이진태 외 “고효율 프로펠러 씨리즈 개발”, 한국기계연구소 보고서 UCN160-1227.D, 1988.
 [3] 이진태 외, “대우 표준 프로펠러 계열 개발 연구” 한국 해사기술 연구소 보고서 BSI1584-1030.D 1989.
 [4] 이진태 외, “새로운 단면을 이용한 고효율 프로펠러 설계법”, 대한조선학회 논문 제 26권 제3호 1989.
 [5] J.E. Kerwin and Chang-Sup Lee, “Predic-

tion of Steady and Unsteady Marine Propeller Performance by Numerical Lifting-Surface Theory”, *SNAME TRANS.* Vol. 86, 1978.
 [6] Greeley, D.S. and Kerwin, J.E., “Numerical Methods for Propeller Design and Analysis in Steady Flow”, *SNAME TRANS.* Vol.90, 1982.
 [7] Jin-Tae Lee, “A Potential Based Panel Method for the Analysis of Marine Propellers in Steady Flow”, Ph.D. Thesis, Dept. of Ocean Engineering, M. I. T, 1987.
 [8] Brockett, T., “Minimum Pressure Envelopes for Modified NACA-66 Sections with NACA a=0.8 Camber and Buships Type I and Type II Sections”, *DTNSRDC Report* 1780, 1966.
 [9] Eppler, R. and Somers, D.M., “A Computer Program for the Design and Analysis of Low Speed Airfoils.” NASA technical Memorandum 80210, 1980.
 [10] Yamaguchi, H. et al., “Development of Marine Propellers with Better Cavitation Performance(1st Report)”, *J. of SNAJ*, Vol. 158(1985)(in Japanese).
 [11] 이진태, “New Blade Section Workshop 참가보고서”, 한국기계연구소 추진기기술실 Technical Report, PTL-16-89, 1989.
 [12] 이창섭 외, “프로펠러 날개단면 개발을 위한 기초연구”, 한국기계연구소 연구보고서, UCE 197C-506.D, 1984.
 [13] 김기섭 외, “캐비테이션 성능이 우수한 고효율 프로펠러 개발”, 한국기계연구소 연구보고서, UCE236-642.D, 1985.
 [14] 이창섭 외, “고속 프로펠러 개발”, 한국기계연구소 연구보고서, 1987.
 [15] 이진태, “표면양력판 이론(Panel Method)에 의한 덕트-프로펠러 추진시스템 해석”, 한국기계연구소 연구보고서 UCE407-1244. D, 1988.