

大韓造船學會誌
第22卷 第2號 1985年 6月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 22, No. 2, June 1985

프로펠러에 의한 선체표면 변동압력의 추정

(제 1 보 : 실험적 연구)

이창섭* · 김기섭* · 서정천* · 최중수*

Prediction of the Fluctuating Pressures Induced on Ship Hull by a Propeller.

(1st Report: Experimental Study)

by

Chang-Sup Lee* · Ki-Sup Kim* · Jung-Chun Suh* · Jong-Soo Choi*

Abstract

This paper describes the experimental method to predict the propeller induced fluctuating pressures on the hull surface.

Cavitations of the three model propellers with varying degree of skews, 0° , 36° and 72° , were observed and the fluctuating pressures induced by the cavitating propellers on the flat plate above these propellers were measured simultaneously at 9 points in the wake field generated by the wire-mesh screens.

Another model propeller designed for the dummy model ship was tested in a similar way behind the dummy model ship.

The effects of skew variation on the cavitation patterns and fluctuating pressures were illustrated, and the influence of tip-clearances on the fluctuating pressures was also demonstrated.

As a result, it is shown that the level of fluctuating pressure and cavity extent could be controlled to some extent by introducing the skews and tip clearances.

기 호

A_E/A_0	Expanded area ratio	K_p	Pressure amplitude coefficient ($=P/\rho n^2 D^2$)
B	Breadth of a ship at design waterline	K_{p1}	Pressure amplitude coefficient of 1st blade frequency component ($=P_1/\rho n^2 D^2$)
C_B	Block coefficient of a ship	K_T	Propeller thrust coefficient ($=T/\rho n^2 D^4$)
D	Propeller diameter	K_Q	Propeller torque coefficient ($=Q/\rho n^2 D^5$)
J	Advance ratio based on ship speed ($=V_s/nD$)	LBP	Length between perpendiculars
J_A	Advance ratio based on propeller inflow velocity (V_a/nD)	LWL	Length at design waterline
		n	Propeller revolutions per second
		P	Pressure in fluid at any field point
		P_i	The i -th order harmonic component of pressure

接受日字: 1984年 10月 13日, 再接受日字: 1985年 1月 23日

* 正會員, 韓國機械研究所 大德船舶分所

- P_v Vapour pressure
- P_∞ Pressure at depth of the shaft center at upstream infinity
- P/D Pitch-diameter ratio
- ΔP Single amplitude of pressure fluctuation

$$\left(= \sqrt{\sum_k^4 k \cdot P_k^2} \right)$$
- Q Propeller torque
- r Radial coordinate of blade section
- R Propeller radius
- T Draft of a ship
- T Propeller thrust
- $T.C.$ Tip clearance to flat plate above propeller
- U Free stream velocity
- V_a Inflow velocity in propeller plane
- V_s Ship speed
- W Wake
- ρ Mass density of fluid
- $\sigma_{n0,TR}$ Cavitation number at $0.7R$ based on $n^2 (= (P_\infty - P_v) / \frac{1}{2} \rho n^2 D^2)$
- φ Phase angle of the i -th order harmonic (or blade frequency) component of pressure fluctuation

1. 서 언

선박의 고속, 대형화에 따라 프로펠러에 작용하는 하중이 증대되어 캐비테이션 현상을 피할 수 없고, 근해에는 에너지 절약형 고효율 추진장치가 요구됨에 따라 저회전 대직경 프로펠러가 등장하게 되어 프로펠러와 선체와의 간격이 좁아지고 있다.

선체표면에 유기되는 프로펠러 변동 압력은 프로펠러-선체 간격이 커질수록 적어지므로 변동 압력을 제어하기 위하여 간격을 넓히면 좋겠지만, 에너지 절약이 지상과제가 된 요즈음은 과거에 부과하던 프로펠러 직경의 상한선을 높여가는 추세이므로 변동 압력의 정확한 추정은 그 본래의 목적인 진동 감소의 차원에서 더욱 발전하여 추진효율의 차원에서도 꼭 필요하게 되었다. 그 한예로 지금까지는 고스쿠프로펠러의 설계가 진동의 관점에서 주로 논의되었지만, 스쿠의 증가가 변동압력, 나아가 선미 진동을 감소시킴으로, 주어진 변동압력의 허용치안에서 프로펠러-선체의 간격 감소를 시도하여, 즉 고스쿠 대직경 프로펠러를 설계하여 추

진효율을 높이는 연구가 세계적으로 진행되고 있음을 들 수 있다.

선체표면 변동압력의 추정은 선박과 그 반류중에서 회전하고 있는 프로펠러의 상호 작용을 해석할 수 있어야 가능하다. 선박 주위의 흐름은 점성의 영향이 없는 포텐셜유동부분과 점성의 영향을 심하게 받는 경계층 부분으로 크게 나눌 수 있는데, 불행하게도 프로펠러는 박리현상등 가장 나쁜 조건이 우세한 선미 두꺼운 경계층 속에서 작동함으로써 여러가지 복잡한 조건을 동시에 만족해야만 진정으로 프로펠러 문제해결이 가능하다. 실선에서의 성능추정에 가장 중요한 부분중 하나는 반류를 추정하는 것이지만 본 연구에서는 이미 널리 알려져 있는 경험적 방식을 채택하기로 하고 여기에는 상세한 설명은 피하기로 한다.

본 논문에서는 먼저 황동망을 사용하여 반류를 재현하는 기법에 대해 서술한 후, 이에 따라 설계 제작된 황동망 반류에서 작동하는 프로펠러의 캐비테이션을 관찰한 결과와, 동시에 터널 관측창 위치에 설치한 압력 변환기를 써서 변동 압력을 측정한 결과를 신고 있다. 그리고 제 2관측부에 모형선을 제작·설치하는 기법을 다룬후, 캐비테이션 상태에서 프로펠러의 캐비테이션을 관찰하고, 선미 표면에 설치된 압력 변환기를 사용하여 변동 압력의 분포를 측정한 결과를 검토하고 제 1관측부와 제 2관측부에서의 실험 결과를 비교함으로써 간략한 실험의 타당성을 검토하였다.

변동 압력의 측정은 필연적으로 스쿠 프로펠러 설계와 떼어놓을 수 없는 관계를 갖는다. 따라서 본 연구에서는 스쿠 시리즈 프로펠러에 의해 유기되는 변동 압력을 서로 비교함으로써 스쿠가 진동 감소에 큰 도움을 주는 사실을 밝히고 설계에의 응용을 촉구하였다.

선체표면의 변동압력을 추정하는 데에는 실험에 의한 방법과 이론 계산에 의한 방법이 있다. 현재의 지식으로는 어느 쪽도 홀로 완전하게 실제적인 문제해결을 주지 못하지만 상호 보완함으로써 어느정도 효과적으로 설계목적에 달성시켜 주고 있다. 본 논문은 한국 기계연구소 캐비테이션 터널에서의 변동압력추정을 위한 여러가지 실험방법을 다루고 있으며, 이론적 해석 방법의 개발은 후후 다루기로 한다.

2. 모형프로펠러 및 단독성능

2.1. 모형프로펠러의 선정

모형 프로펠러를 선정하기 위하여 다음 두가지를 고려하였다. 첫째, 본 연구의 목적이 모형선 선미와 황

동양 반류에서의 캐비테이션 및 변동 압력 비교이므로 두 가지 실험을 동시에 수행할 수 있는 프로펠러(KP 008)를 선택하였고, 둘째로 변동 압력의 측정이 궁극적으로 고스큐 프로펠러의 설계를 검증하는 방편으로 사용될 것임을 고려하여 장차 연구의 목적으로 널리 쓰일 수 있는 스쿼시리즈(KP068, KP069, KP070)를 설계·제작하였다. 모형 프로펠러 4 개의 주요 특성 및 도면을 Fig. 1~2에 보였다.

본 연구에서 채택한 스쿼시리즈 프로펠러는 원래

Kerwin & Lee[1]가 양력면 이론에 의한 프로펠러 성능 추정 이론을 개발할때 사용한 프로펠러와 거의 유사한 것으로, 원래는 고스큐 프로펠러의 실용화를 위해 NSRDC를 중심으로 Boswell[2] 등이 단독 성능과 캐비테이션 성능 등을 집중적으로 연구했던 프로펠러의 피치 분포를 날개끝 근처에서 하중이 너무 큰 단점을 보완하여 약간 수정한 것이다.

본 연구에서 새로 제작된 스쿼시리즈 프로펠러는 모두 5 개의 날개를 갖고, 설계전진 계수 $J_A=0.889$ 를 만

KIMM PROPELLER Ø08 (DUMMY MODEL ADAPTED PROP), 4-BLADE

DIA.(CM)	20.57	SKEW(DEG)	17.70
NO. OF BLADES	4	RAKE	0.00
AE/A0	0.60	RH/R0	0.20
P/D AT .7R	0.673	NACA 00 MOD. SECTION	
		A=0.8 MEAN LINE	

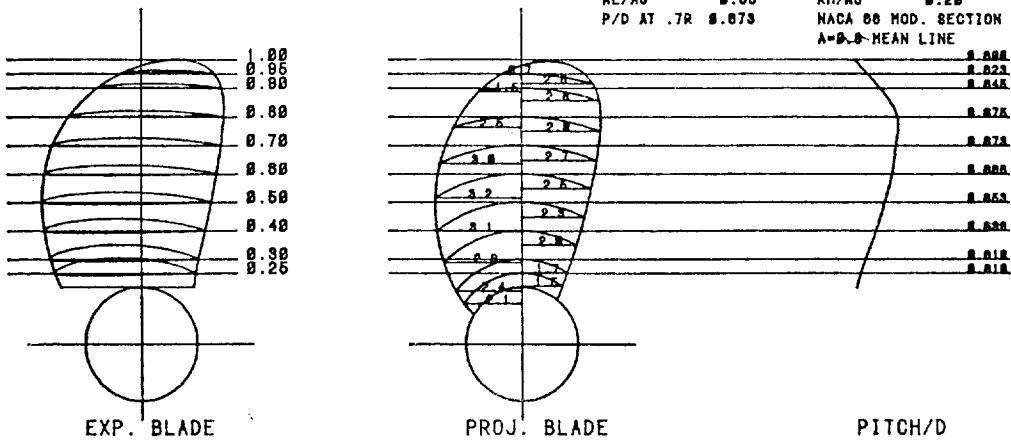
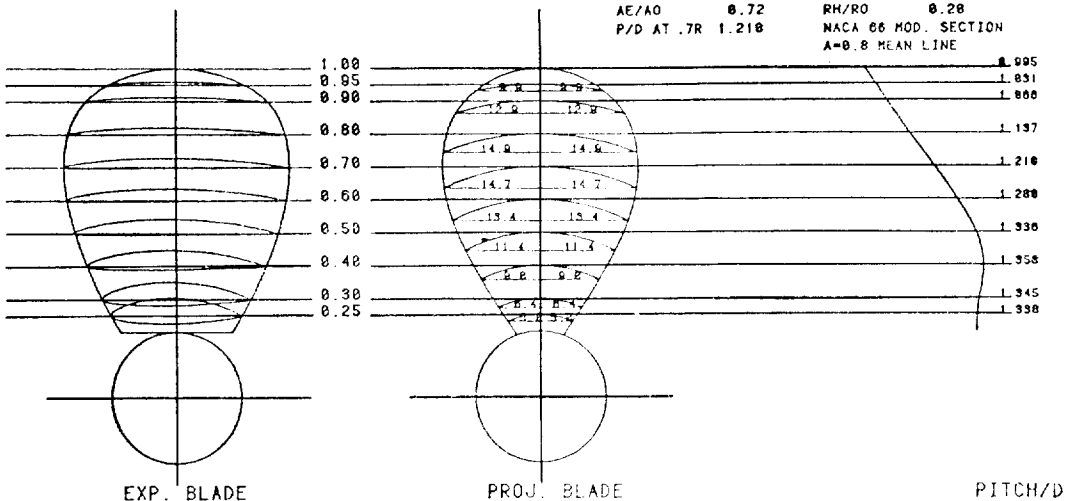


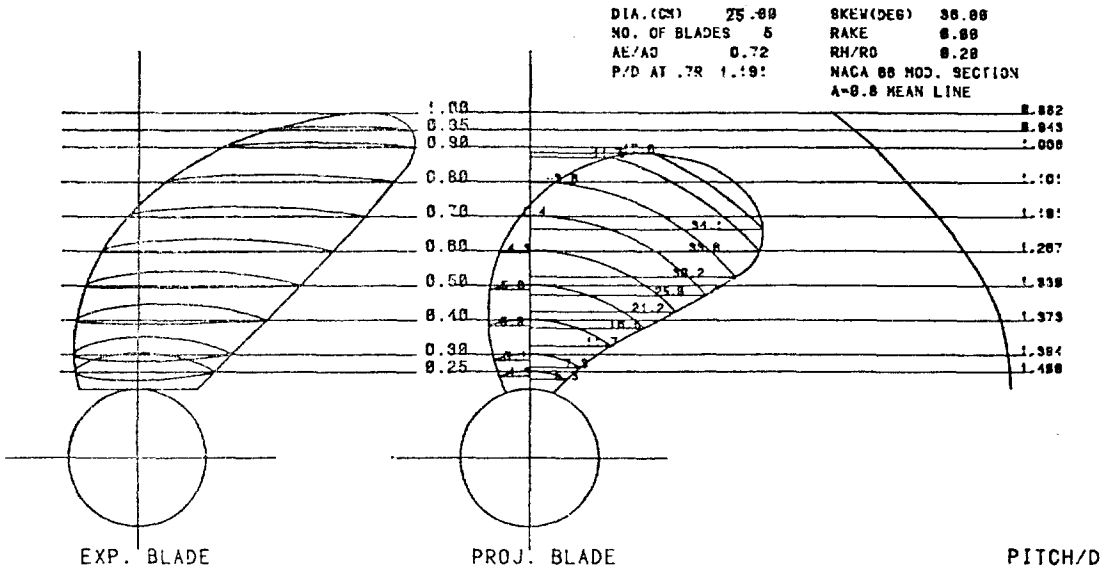
Fig. 1 Geometry of the propeller KP008

DIA.(CM)	25.00	SKEW(DEG)	0.00
NO. OF BLADES	5	RAKE	0.00
AE/A0	0.72	RH/R0	0.20
P/D AT .7R	1.210	NACA 00 MOD. SECTION	
		A=0.8 MEAN LINE	

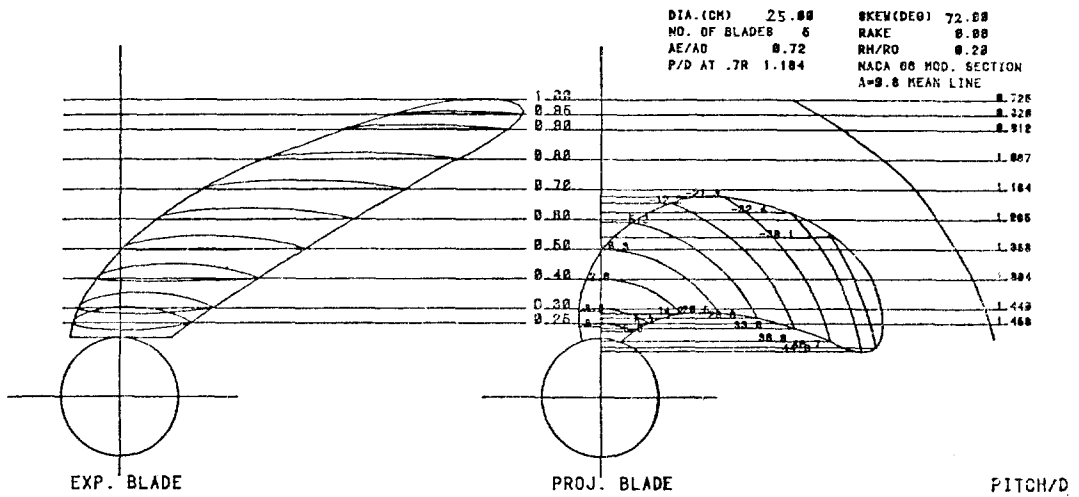


(a) KP068

Fig. 2 Geometries of the skew-series propellers



(b) KP069



(c) KP070

Fig. 2 Continue

축하도록 한 고속 프로펠러이며 스쿠의 크기를 차례로 0°, 36°, 72° 즉, 날개 사이각 72°를 단위로 할 때 각각 0%, 50%, 100%의 스쿠를 갖는다.

2.2. 단독성능

4개의 모형 프로펠러에 대한 본 연구소의 예인 수조에서 Reynolds수를 3×10^5 이상 유지시켜 단독시험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 3 및 Fig. 4에 정리하였

다. 스쿠 시리즈 프로펠러 중 0%, 50% 스쿠 프로펠러는 설계 전진계수 $J_A=0.889$ 에서 $K_T=0.202$ 와 좋은 일치를 보여주고 있으며, 100% 스쿠프로펠러는 2%정도 낮은 값을 주지만 실험의 정도로 보아 단독특성이 나쁘다고 말할 수 없으나, 다만 경계층의 영향으로 추력이 약간 감소한 것으로 판단된다.

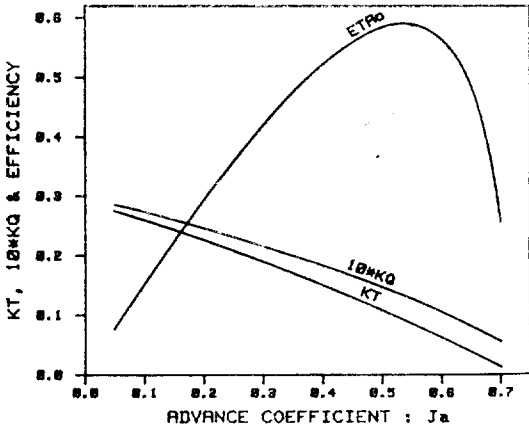


Fig. 3 Open water characteristics of the propeller KP008 in the towing tank

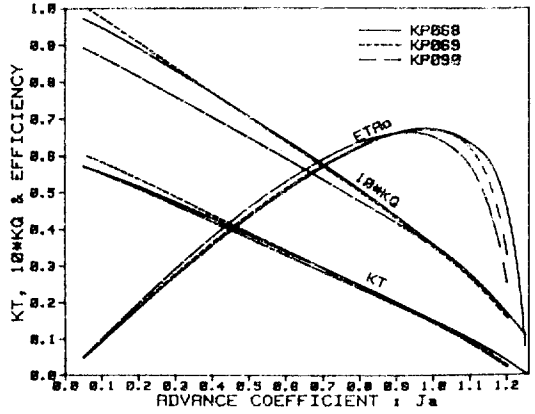


Fig. 4 Open water characteristics of skew-series propellers in the towing tank

3. 활동망 및 모조선에 의한 반류 재현

3.1. 모조선 선정

제 2 관측부를 사용하여 신후 상태 아래서 캐비테이션 실험을 수행하기 위한 선형으로는, 본래 제 2 관측부의 설치 목적이 횡방향 유입속도가 프로펠러 추진 및 캐비테이션 성능에 미치는 영향이 큰 경우를 위한 것임을 고려하여, 연구소에서 실험을 수행한 바 있는 선형 중에서 벌브형 선미를 갖는 방형 비척 계수가 큰 ($C_B=0.844$) 저속 대형선을 채택하였다.

기존 선박이기 때문에 모형 프로펠러 (KP008)의 직경이 이미 정해져 있으므로, 모형선의 크기가 예인 수조에서 실험한 7m 정도가 되어 최대 5m 정도로 예상하고 있는 제 2 관측부의 용량을 훨씬 웃돌고, 더우기 위벽 효과를 최소화하기 위하여 모형선 단면이 관측부의 단면(1.45m×0.7m)의 20%를 초과하지 않도록

제한하다 보니, Fig. 5에 보인 바와 같이 선체 중앙부를 크게 잘라내지 않을 수 없었다. 다만 선미의 형상은 원형을 그대로 유지하였으며 흡수선이 제 2 관측부의 덮개에 민착되도록 하였다(LBP=2.722m, LWL=3.011m, B=0.8m, T=0.416m).

모조선의 재질은 배 전체가 물에 잠기므로 목재를 쓸 수 없으므로 FRP로 하였다.

3.2. 활동망을 사용한 반류 재현

캐비테이션 터널에서 선체에 의한 반류를 재현하기 위하여는 모형선이나 모조선을 제작하여 설치하거나, 반류 스크린을 사용하는 방법이 있다. 그 중 반류 스크린을 사용하는 방법은 반류 성분중 축방향 성분만을 재생시키는 단점이 있으나, 사용이 간편하고 제작비가 저렴하여 널리 사용되고 있다. 즉 예인 수조에서의 반류 분포 계측실험으로 부터 얻은 공칭 반류를 재현하기 위하여 각기 다른 조밀도를 갖는 활동망을 반류 특성에 맞추어 적절히 중첩하여 사용하게 된다[3]. 중

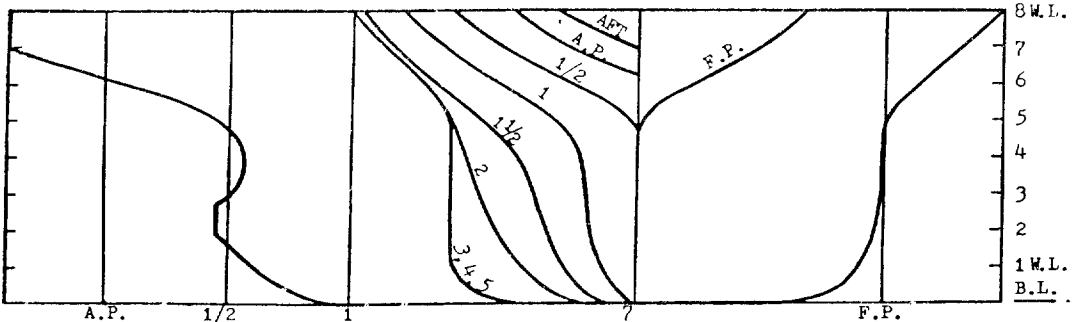


Fig. 5 Aft-body plan, stern and bow contour of dummy model

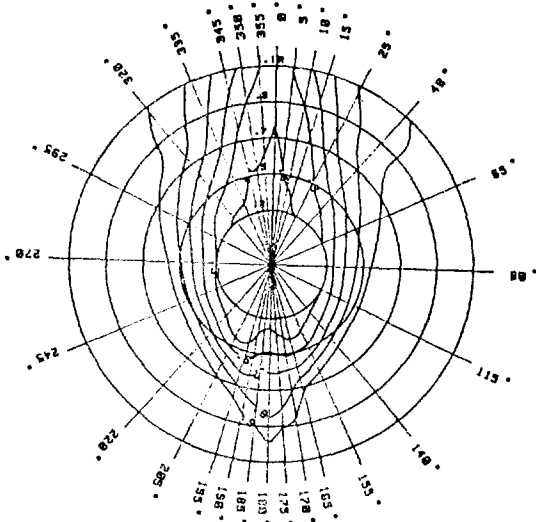


Fig. 6 Wake (V_a/V_s) distribution simulated by wire mesh (KW005) in plane of skew-series propellers (looking downstream)

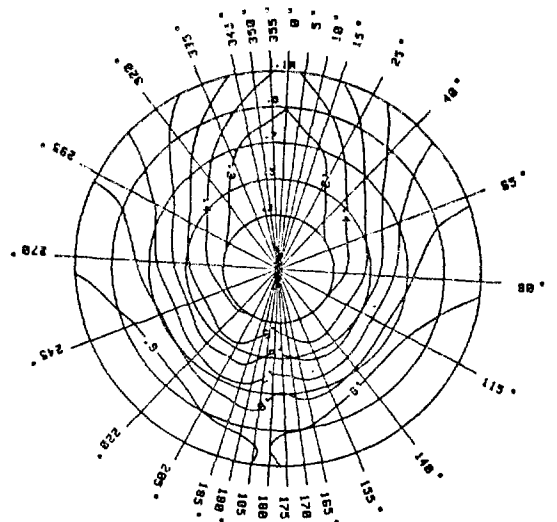


Fig. 7 Wake (V_a/V_s) distribution simulated by wire mesh (KW006) in plane of the propeller KP008 (looking downstream)

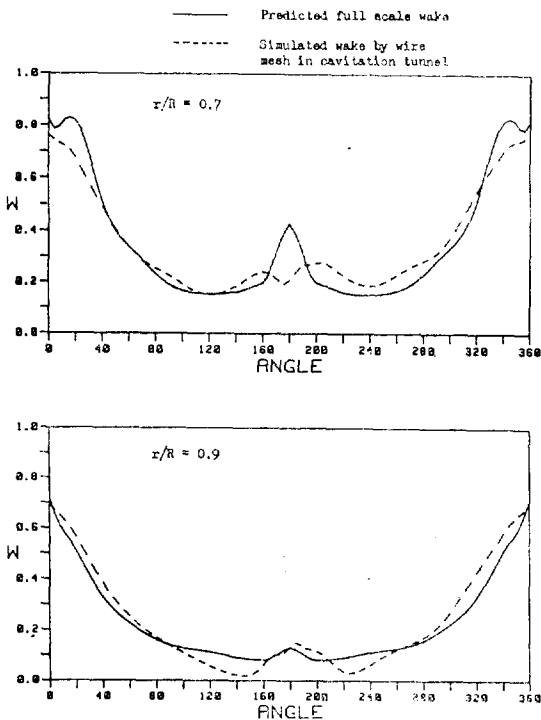


Fig. 8 Comparison of the simulated wake by wire mesh with the model ship wake in the circumferential direction

침하는 과정에서의 기본적 개념으로는 유동장 내에서 축방향으로 운동량 보존의 법칙이 적용된다고 가정하나 실제의 현상은 유체의 점성, 보오텍스의 확산, 반류의 수축등으로 인하여 축방향에 수직인 속도 성분을 갖게 되어 결국 축방향 반류 분포에 영향을 주게 된다. 이러한 현상에 대하여 아직 세계적으로 확실한 이론이 정립되어 있지 못하고 어느 정도 경험에 의존하는 실정에 있다. 이렇게 하여 얻어진 반류 스크린을 프로펠러면 앞 적당한 위치에 설치함으로써 선체에 의한 불균일 흐름을 재생시켜 실험하게 되는 데, 만일 반류의 축방향 성분외에 반경방향이나 접선 방향 속도 성분이 중요한 실험인자인 경우에는 이의 적용이 어렵고, 모형선이나 모조선을 이용하여 반류 분포를 직접 재현하는 방법을 택하여야 한다.

본 연구에서는 두 가지 종류의 제 1관측부용 반류스크린을 제작하였다. 스쿠서리즈 프로펠러의 캐비테이션 관찰과 변동 압력 측정에 사용된 황동망(KW005)은 전형적인 컨테이너선의 반류를 재현하여 프로펠러 날개의 받음각이 날개 위치에 따라 달라질 수 있도록 반복된 제작과 실험의 과정을 거치지 않고 만들어졌으며, 그에 의한 프로펠러 면에서의 축방향 반류 분포가 Fig. 6에 나타나 있다.

앞절에서 소개한 모조선의 기준 반류를 제 1관측부에서 여러번의 수정과정을 통하여 황동망(KW006)에 의해 재현하였으며(Fig. 7) 기준 반류와 재현된 반류

와의 차이를 Fig. 8에 보였다.

4. 황동망 반류에서 스쿠씨리즈 프로펠러의 캐비테이션 관찰

프로펠러 설계 관점에서 프로펠러에 의해 유기되는 선미 부근의 기진력과 날개면 위에 발생하는 캐비테이션을 줄이기 위한 효과적인 방법으로 통상 스쿠 프로펠러를 실선에 응용하고 있다. 날개에 스쿠를 줌으로써 스쿠가 없는 프로펠러에 비해 다음과 같은 이론적 근거에서 단독 효율을 높일 수 있는 여지가 있다. 첫째로 캐비테이션 발생 면적이 상대적으로 줄어들기 때문에 날개 면적을 줄일 수 있다. 두번째로 날개끝 캐비테이션의 상대적 감소로 날개끝 부근의 부하를 높이거나 최적부하 분포가 가능하다. 세번째로 프로펠러에 의해 유기되는 기진력의 상대적 감소로 날개끝 간격에 여유가 있어 프로펠러 직경을 키울 수 있고 이로 인해 프로펠러 회전수를 줄일 수 있다.

위에서 언급한 이론적인 배경을 실험으로 뒷받침할 목적으로, 스쿠각을 변화시킨 세가지 스쿠 씨리즈 프로펠러에 대하여 제 1 관측부의 동등한 황동망 반류 분포(Fig. 6)에서 캐비테이션 관찰 시험을 수행하였으며, 그 관찰 결과를 Fig. 9, 10에 보였다.

그림에 보인 바와 같이 스쿠각이 0°인 KP068 프로펠러에서 캐비테이션이 발생하는 날개 위치의 범위(330°~40°)와 최대 발생 면적(날개 면적의 약 25%)은 크지 않은 반면, 캐비티는 상당히 두껍게 나타나고 있다. 이로 인해 캐비티 체적이 심하게 변하여 선체 표면의 변동 압력이 크게 나타날 것으로 예상된다. 반면, 스

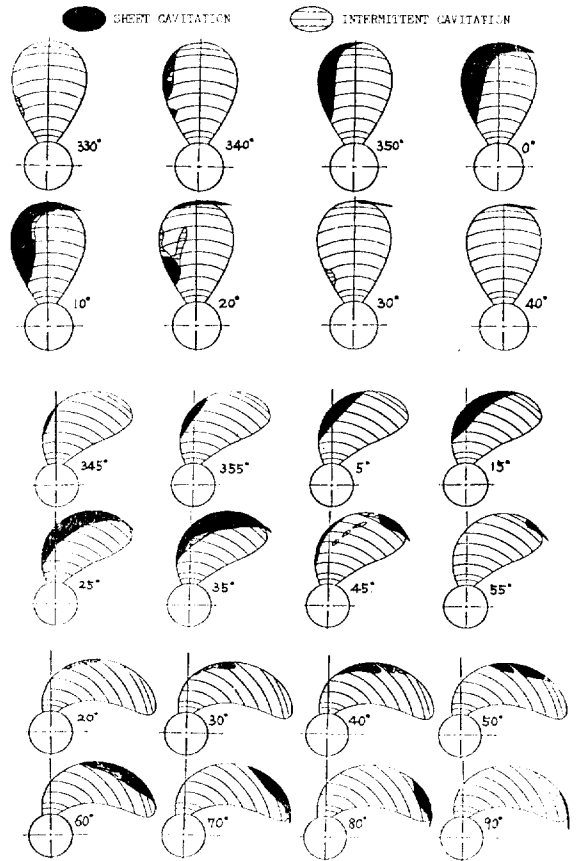


Fig. 9 Sketch of cavitation patterns on the suction side ($K_T=0.202$, $n=20$ rps $\sigma_{n0.7R}=2.592$) (a) KP068, (b) KP069, (c) KP070

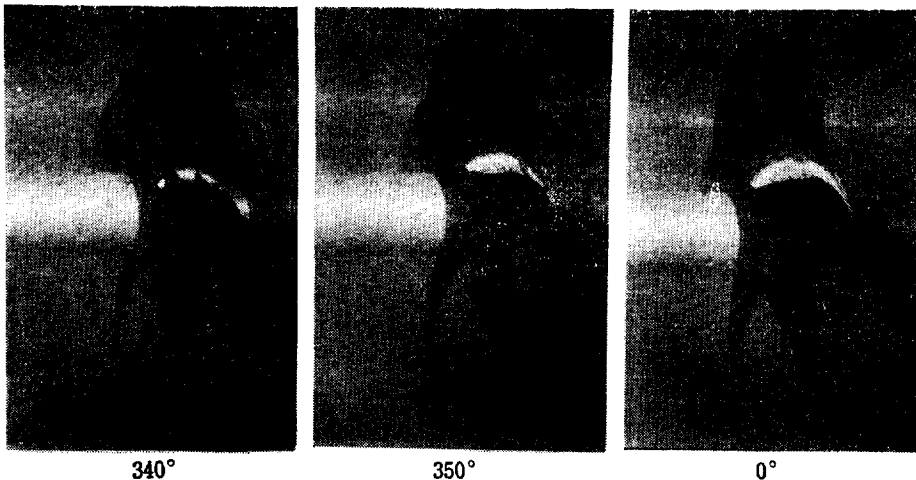
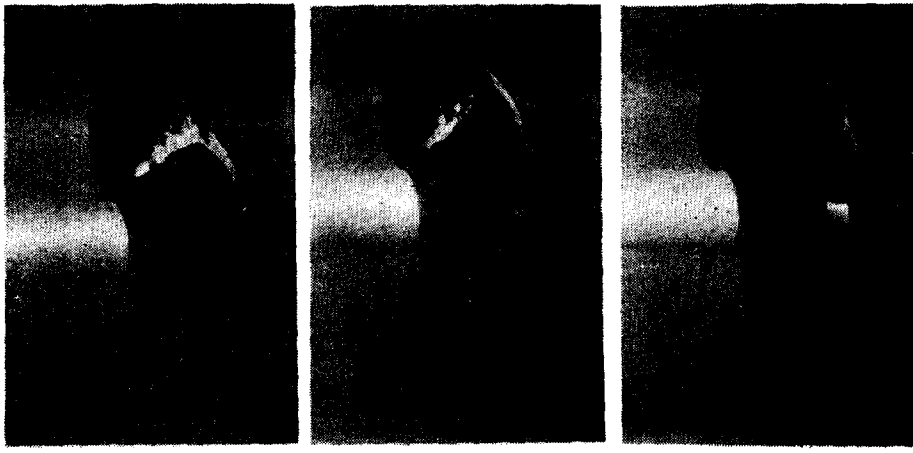


Fig. 10-a Cavitation patterns of the propeller KP068 ($K_T=0.202$, $n=20$ rps, $\sigma_{n0.7R}=2.592$)

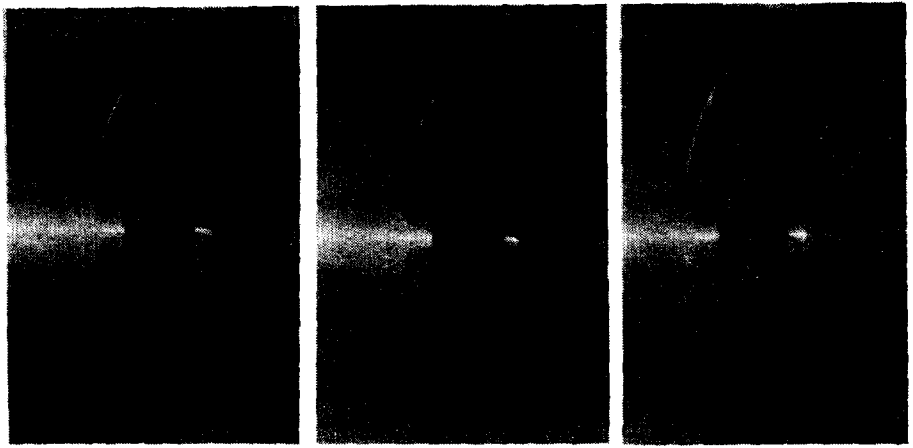


10°

20°

30°

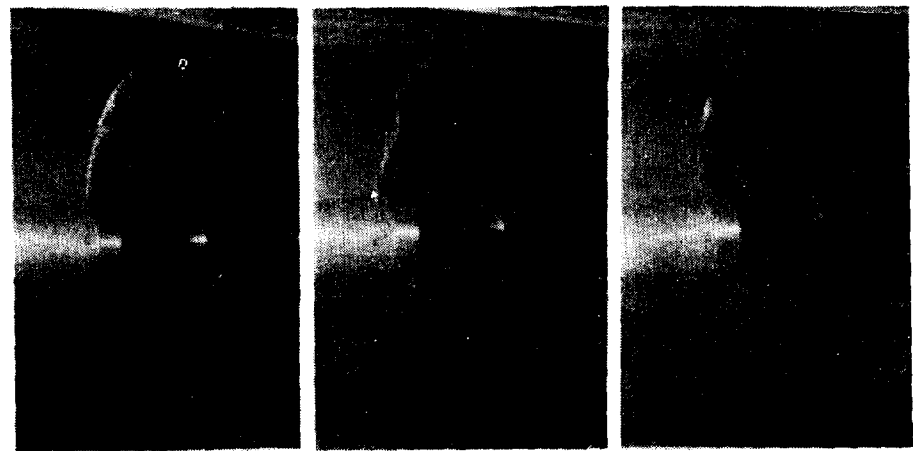
Fig. 10-a continue



0°

5°

15°



25°

35°

40°

Fig. 10-b Cavitation patterns of the propeller KP069 ($K_T=0.202$, $n=20\text{rps}$, $\sigma_{n0,TR}=2.592$)

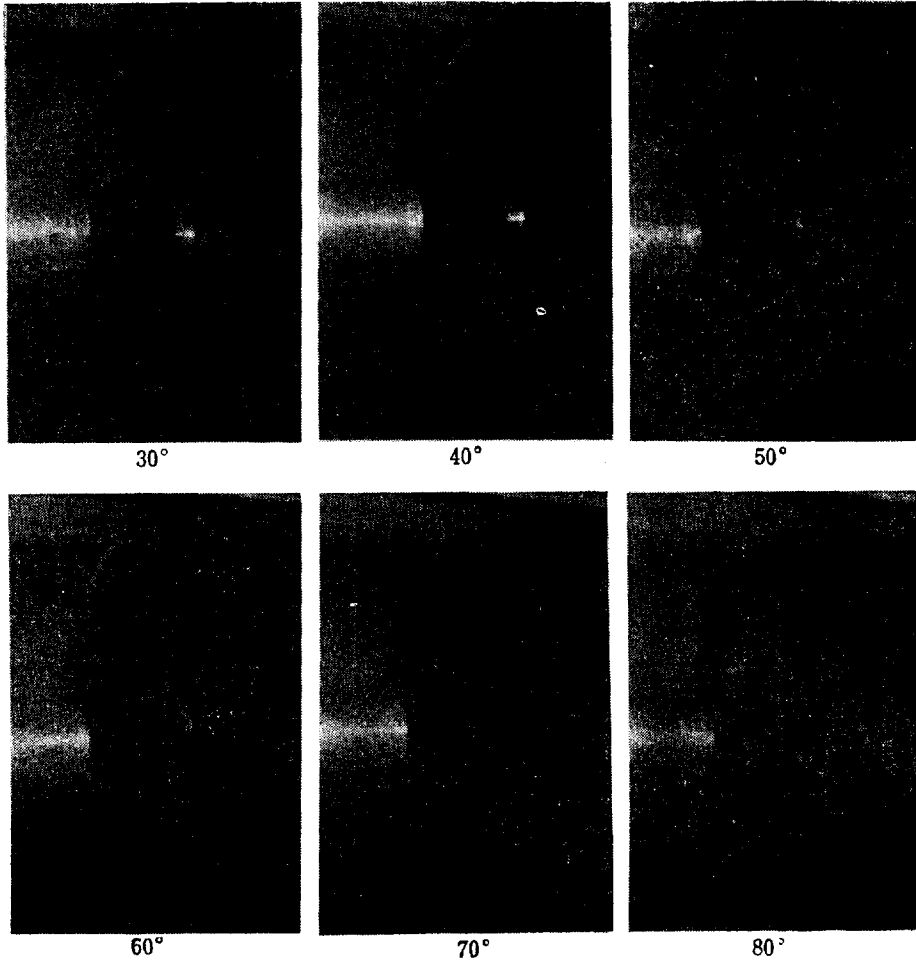


Fig. 10-c Cavitation patterns of the propeller KP070 ($K_T=0.202$, $n=20$ rps, $\sigma_{no.7R}=2.592$)

큐각이 36°인 KP069 프로펠러에서는 캐비테이션이 발생하는 날개 위치 범위(345°~55°)와 최대 발생 면적(날개 면적의 약 20%)은 KP068 프로펠러의 경우와 비슷하나, 캐비티두께는 어느 정도 감소한다. 따라서 캐비티 체적 변화가 심하지 않으므로 선체 표면의 변동압력이 어느 정도 감소할 것으로 예상된다. 또한 스큐각이 72°인 KP070 프로펠러에서는 캐비테이션이 발생하는 날개 위치 범위(20°~90°)는 KP068와 KP069 프로펠러의 경우와 비슷하나 최대 발생 면적(날개 면적의 약 15%)은 상당히 줄어들었으며 캐비티 체적 변화도 완만하므로 선체 표면의 변동 압력이 더욱 감소할 것으로 예상된다.

세가지 프로펠러에 대하여 뒷면 얇은 층 캐비테이션(back sheet cavitation)과 약간의 간헐 캐비테이션이 발생하였으며, 날개끝 보오텍스 캐비테이션은 통상의

프로펠러에 비해 그 다지 발생하지 않았다. 또한 프로펠러 침식과 손상 및 소음에 직접 영향을 미치는 기포 캐비테이션과 구름 캐비테이션은 발생하지 않았다.

5. 평판에 작용하는 변동압력 측정

5.1. 황동망 반류에서 작동하는 스쿠 씨리즈 프로펠러에 의한 변동압력

앞서 서언에서 언급한 바와 같이 변동압력과 캐비테이션을 줄이기 위한 효과적인 방법은 프로펠러 날개에 스류를 주는 것이다. 본 연구에서는 스류의 영향을 보다 자세히 연구하고 이를 직접 응용할 수 있는 기반을 제시하고자 동일한 황동망(KW005) 반류에서 스쿠씨리즈 프로펠러를 대상으로 평판에 작용하는 변동압력을 측정하였다. Fig. 11에 평판과 프로펠러의 상대적

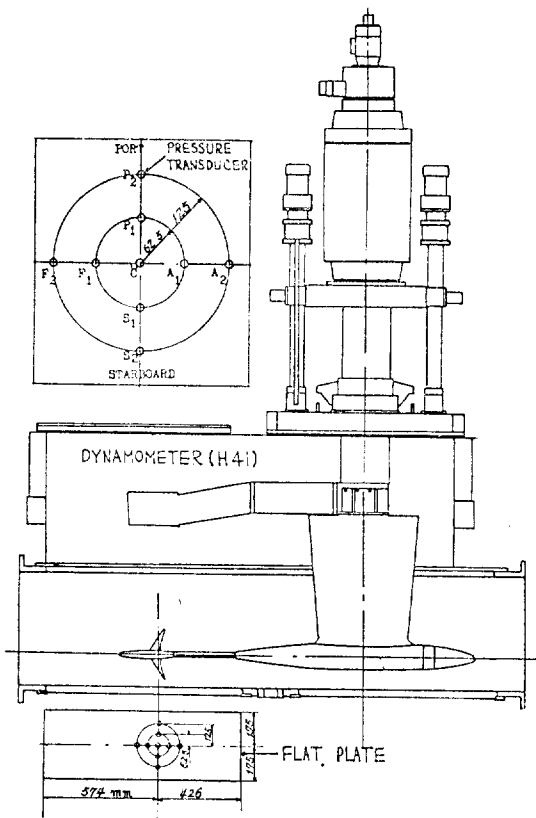


Fig. 11 Experimental apparatus of dynamometer (H41) and positions of flat plate and pressure transducers

위치 및 압력 변환기의 위치가 표시되어 있으며 X-Y 기록기로 기록된 변동압력 신호를 Fig. 12~14에 보였다.

캐비테이션 상태 ($K_T=0.202$, $n=20$ rps, $\sigma_{n0.7R}=2.592$, $T.C.=0.2D$)에서의 변동압력이 비 캐비테이션 상태 ($K_T=0.202$, $n=20$ rps, $\sigma_{n0.7R}=\sigma_{atm.}$, $T.C.=0.2D$) 보다 2~4배 크게 나타나며 캐비테이션 관찰에서 예상한 바와같이 스쿠를 줌으로써 변동압력이 어느정도 감소함을 알 수 있다. 또한 비캐비테이션 상태에서 제 1차 날개 진동수의 변동압력 (P_1) 분포를 Fig. 15에 보였다. 스쿠각이 0° 인 프로펠러 KP068의 경우, 프로펠러면 상의 점 C부근에서 최대 변동압력이 나타나며 우현 쪽 (S_1, S_2)의 값이 좌현 쪽 (P_1, P_2)의 값보다 크게 나타나고 있다. 스쿠가 있는 프로펠러 KP069와 KP070의 경우에는 스쿠-유기레이크로 인해 날개끝이 프로펠러면 후방으로 처지게 됨으로써 변동 압력의 최대값이 프로펠러면의 약간 후방에서 나타나게 되며 특

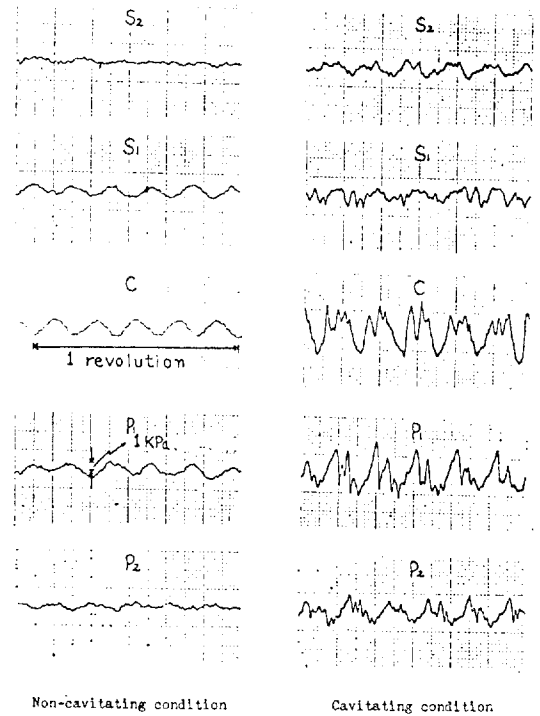


Fig. 12 Measured fluctuating pressures induced by propeller KP068 on flat plate

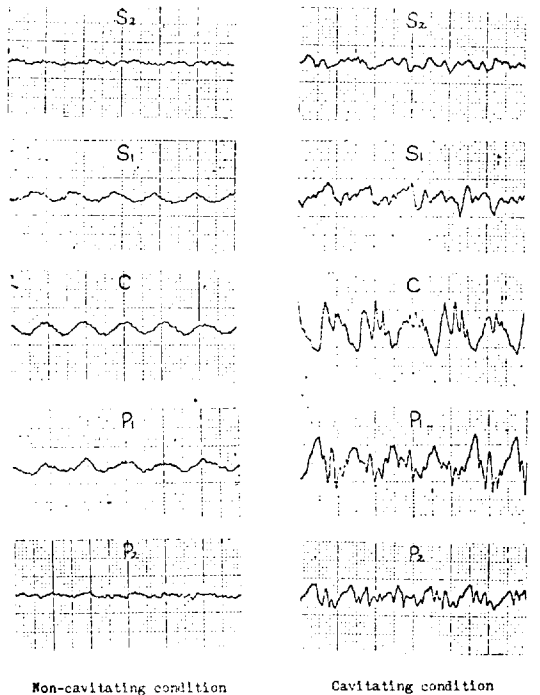


Fig. 13 Measured fluctuating pressures induced by propeller KP069 on flat plate

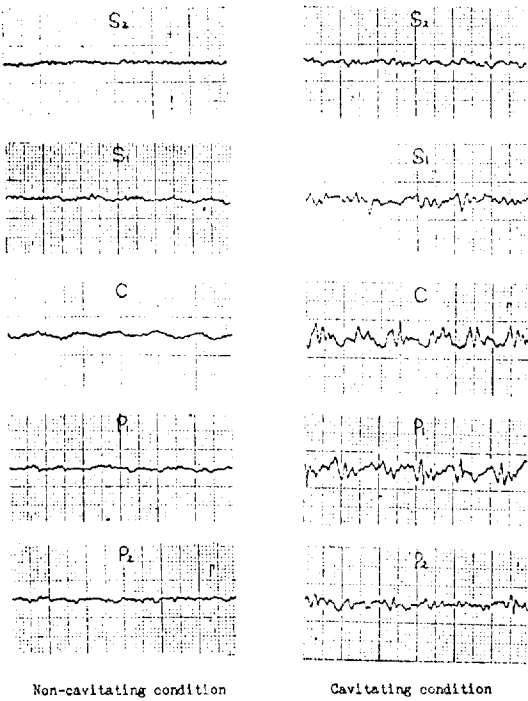


Fig. 14 Measured fluctuating pressures induced by propeller KP070 on flat plate

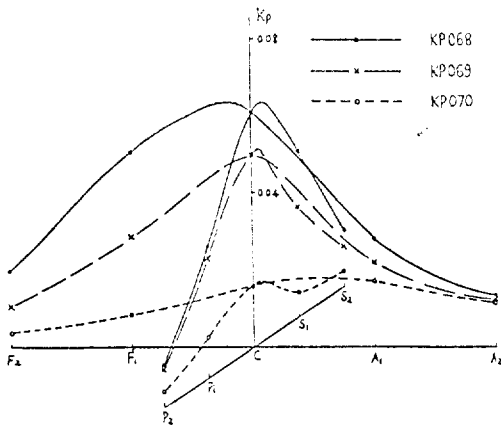


Fig. 15 Spatial distribution of fluctuating pressures on flat plate for skew-series propellers in non-cavitating condition (1st blade frequency component)

히 KP070의 경우에는 후방 (A_1, A_2)에서의 값이 전방 (F_1, F_2)에서의 값보다 크게 나타난다.

변동압력의 제 1 차 날개 진동수의 위상차 분포를 Fig. 16에 보였다. 이에 의하면 횡방향 압력 측정점 사이의 10° 이내의 위상차는 날개 사이각(72°)에 비해

무시할만하므로 위상차와 무관하게 진폭을 합하여 기진너 계산의 입력자료로 사용하는 실제 응용상황의 타당성을 부여하고 있다.

캐비테이션 상태에서 날개 진동수의 변동압력 (P_1) 분포를 Fig. 17에 보였다. 프로펠러 앞뒤 방향과 가로 방향의 경향은 크기가 약 2배 증가한 것 이외에는 앞서의 비캐비테이션 상태와 유사하다. 캐비테이션 상태에서 변동압력이 비교적 덜 증가(약 2배)하는데, 이는 캐비테이션 관찰에서 알 수 있듯이 날개면 상에 발생

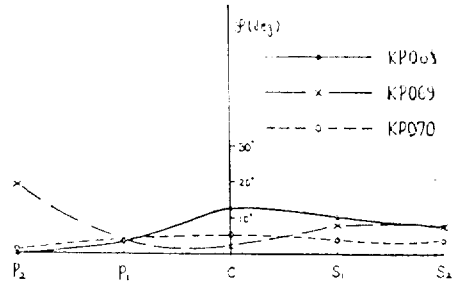


Fig. 16 Phase of fluctuating pressures on flat plate in transverse direction for skew-series propellers in non-cavitating condition (1st blade frequency component)

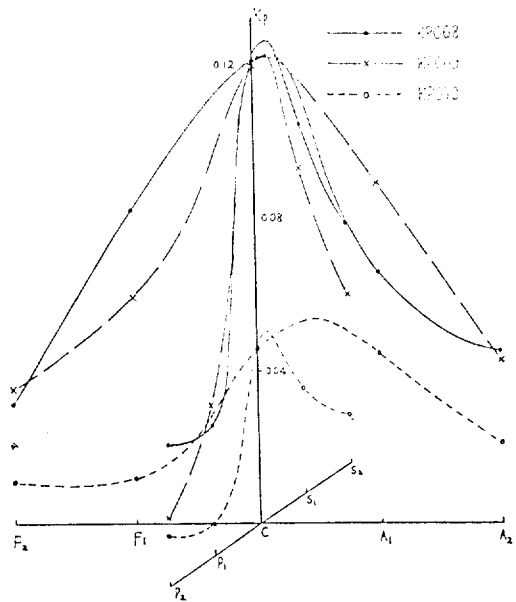


Fig. 17 Spatial distribution of fluctuating pressures on flat plate for skew-series propellers in cavitating condition (1st blade frequency component)

하는 얇은 층 캐비티의 체적변화가 크지 않으며, 날개끝 보오텍스 캐비테이션이 그다지 많이 발생하지 않기 때문이다.

5.2. 활동량 반류에서 작동하는 KP008 프로펠러에 의한 변동압력

제 2 관측부에서 모조선 선체에 작용하는 변동압력을 측정하기에 앞서 제 1 관측부의 활동량 (KW006) 반류에서 KP008 프로펠러에 의해 평판에 작용하는 변동압력을 측정하였다. 실험장비의 구성은 앞절과 동일하며 비 캐비테이션 상태 ($K_T=0.169$, $n=40$ rps, $\sigma_{n0.7R} = \sigma_{aim}$, T.D.=0.23D)에서의 측정 결과를 Fig. 18에 보였다. 앞절에서 언급한 바와 같이 프로펠러면 위의 점 C 부근에서 변동압력이 최대로 나타나며 우현 쪽 (S_1 , S_2)과 후방 (A_1 , A_2)의 값보다 크게 나타난다. 또한 제 2 차와 제 3 차 날개 진동수에서의 변동압력 진폭이 제 1 차 날개 진동수에서의 진폭에 비해 작게 나타남을 알 수 있는 바 전체 변동압력 (ΔP) 계산시 5차 이상의 고차 조화성분을 무시하는 실제 응용 상황의 타당성을 보여 주고 있다.

5.3. 날개끝 간격 변화에 따른 변동압력 변화

프로펠러에 의해 유기되는 변동압력을 판정할 때 선정되는 가장 대표적인 위치는 프로펠러 기준선 바로 위에 선체표면이다. 이는 바로 이 압력결과 프로펠러 기준선 바로 위의 선체표면이다. 이는 바로 이 압력결

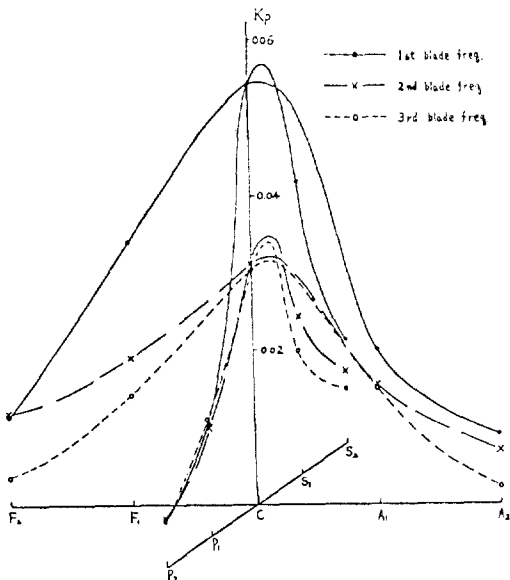


Fig. 18 Spatial distribution of fluctuating pressures on flat plate for propeller KP008 in non-cavitating condition

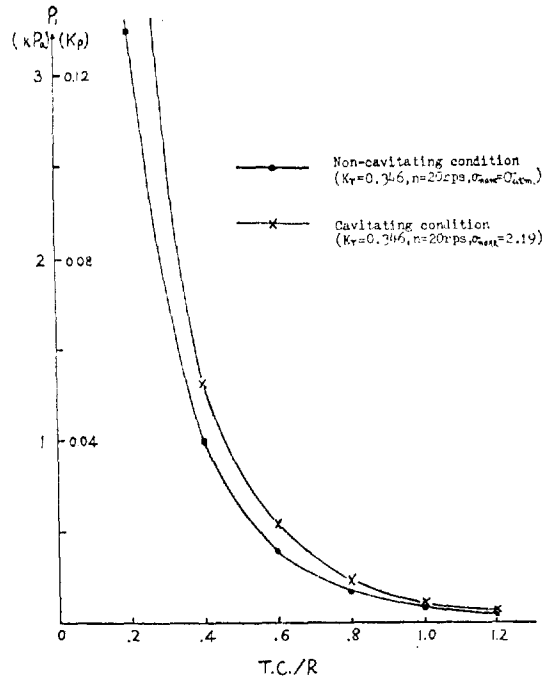


Fig. 19 Influence of tip clearance upon blade frequency pressure fluctuation measured on flat plate in uniform flow for propeller KP069

과 프로펠러 날개끝 사이의 간격이 프로펠러 설계시에 프로펠러 직경을 결정짓는 중요한 설계 변수이기 때문이다.

선급 협회의 규정에 의하면 프로펠러의 날개끝 간격을 대개 직경의 20% 이상 요구하는 데, 대직경 프로펠러를 원하는 현재의 추세에 따라 좀 더 줄어들 가능성이 높다. 본 연구에서는 날개끝 간격의 영향을 보다 면밀히 연구함으로써 이에 대처 하고 변동압력을 감소시키는 방법을 모색하고자 KP069 프로펠러를 대상으로 날개끝 간격을 변화시켜 변동압력 측정 시험을 실시하였다.

Fig. 19 는 균일흐름 중에서 작동하는 KP069 프로펠러에 의한 날개 진동수 변동압력 (P_1)과 날개끝 간격의 관계를 보여준다. 예상했던 바와 같이 간격이 증가함에 따라 급격히 변동압력이 감소하는 것을 알 수 있다 ($1/r^2$ 거동). 또한 캐비테이션이 발생할 경우에는 그 진폭이 커짐도 알 수 있으나 증가폭이 그 다지 크지 않음은 균일흐름 중에서 캐비티 체적 변화가 심하지 않기 때문이다.

6. 모조선 선미에서의 캐비테이션 관찰 및 선체표면에서의 변동압력 측정

6.1. 모조선 설치

캐비테이션 터널에서 실제 선박 주위의 흐름을 가장 정확하게 재현 할 수 있는 방법은 터널 내부에 모형선을 설치하고 실선 조건과 유사한 실험조건을 만드는 것이다. 본 실험에서도 제 2 관측부를 사용하여 모조선 후류에서 작동하는 KP008프로펠러의 캐비테이션 관찰과 선체 표면에 유지되는 변동압력 측정을 실시하였다. 모조선이 제 2 관측부 덮개에 부착된 상태가 Fig. 20에 나타나 있다. 이 모조선을 제 2 관측부 뒷면에 5개의 스테인레스 스트럿(단면적 : 6.6 cm², 허용전단응력 : 약 10 kg/cm²)에 의해 지지하였으며, 실험 수행시 터널 내의 물의 최대 속도를 약 4.3 m/sec로 허용할 경우, 모조선이 받는 저항은 대략 30 kg으로 추정된다. 따라서 모조선을 지지하고 있는 스트럿에 걸리는 전단력이 전체 허용 전단력(약 330 kg)의 1/10 가 되어 스트럿 자체가 전단력에 의해 파괴되지 않을 것이다.

선미 부근의 선체표면에 부착한 9개의 압력 변환기(Fig. 21)는 앞서 평판에서의 변동압력 측정에 사용했던 것이다. 모조선의 선미표면과 선체 중앙면과 교차되는 선미 Side Profile 상에 프로펠러 전후방으로 압력 변환기를 부착하는 것이 원칙이나 그 부근의 형상이 매

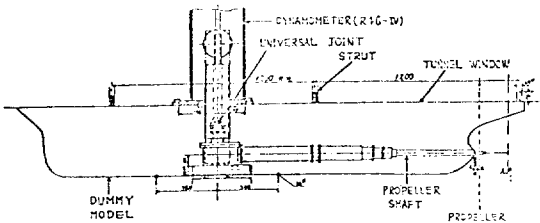


Fig. 20 Experimental set-up of dynamometer (R46-IV) and dummy model in No.2 section

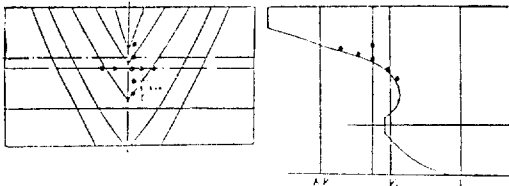


Fig. 21 Stern shape of dummy model and transducer positions

우 불연속하여 압력 변환기를 부착할 경우 그 일부가 선체표면 밖으로 돌출하게 되어 선미 흐름을 바꿀 우려가 있고 압력변환기의 방수 문제가 야기되어 Fig. 21에 보인 바와 같이 F₁, F₂, C, A₁, A₂점의 압력 변환기는 우현 쪽으로 약간 이동 부착하였다.

6.2. 캐비테이션 관찰

모조선 선미 부근의 선체표면 변동압력을 측정하는 것과 병행하여 캐비테이션 발생 특성을 파악하기 위하여 모조선 반류에서 작동하는 KP008 프로펠러의 캐비테이션 관찰 시험을 수행하였다. 이때 실험조건(K_T=0.169, n=30 rps, σ_{n0.7R}=2.566)은 실선조건에 부합하도록 정하였으며, 그 관찰 결과를 Fig. 22에 보였다.

날개 위치 320°~30°에서 비교적 깨끗한 뒷면 얇은 층 캐비테이션이 발생하였으며 최대 발생면적은 날개 위치 340°에서 날개면적의 약 15%에 이른다. 또한 프로펠러의 침식이나 손상 및 소음에 적절 영향을 미치는 구름 캐비테이션이나 기포 캐비테이션은 발생하지 않았다.

통상 우회전 프로펠러의 경우 우현 쪽에서 캐비티가 최대로 발생함이 원칙이나 본 실험에서는 좌현 쪽에서 최대로 발생했다. 이는 모조선 제작의 오차, 터널 위벽효과 등으로 인해 선미 부근의 유동에 변화를 일으켜 기인된 듯 하나 보다 정확한 규명을 위해서는 많은 실험을 수행하여야겠다.

6.3. 선체 표면에서의 변동압력 측정

Fig. 21에 보인 9개의 선체표면 압력점에서 변동압력을 측정하였으며, 6.2의 캐비테이션 관찰시와 동일한 캐비테이션 상태(K_T=0.169, n=30 rps, σ_{n0.7R}=2.566)와 비 캐비테이션 상태(K_T=0.169, n=30 rps,

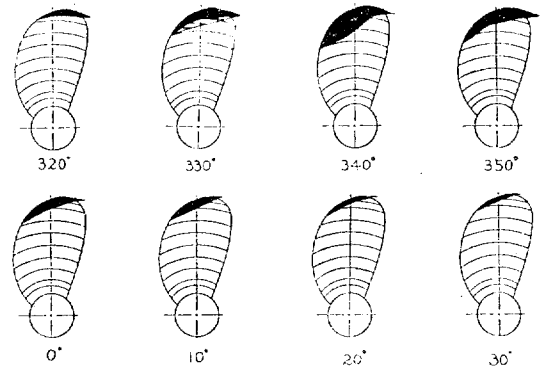


Fig. 22 Sketch of cavitation patterns on the suction side of propeller KP008 behind dummy model (K_T=0.169, n=30 rps, σ_{n0.7R}=2.566)

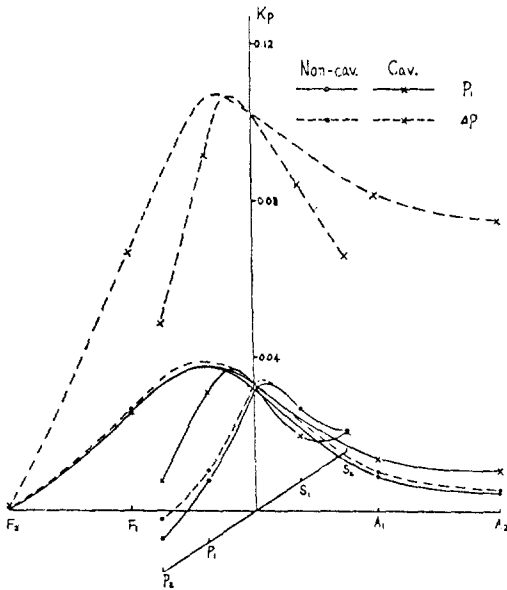


Fig. 23 Spatial distribution of fluctuating pressures on dummy model for propeller KP008 (1st blade frequency and total amplitudes)

$\sigma_{n0.7R} = \sigma_{atm.}$)에서의 측정 결과를 Fig. 23에 보였다.

캐비테이션 상태에서의 날개 진동수 진폭(P_1)이 비캐비테이션 상태에 비해 그다지 증가하지 않는데 이는 캐비티가 비교적 얇고 깨끗하게 발생하기 때문이다. 캐비테이션 관찰에서 언급한 바와 같이 좌현 쪽에서 캐비테이션이 최대로 발생하므로써 최대 변동압력도 좌현쪽에 작용한다. 날개 끝 부근의 캐비테이션이 비교적 많이 발생하는 날개 위치 범위(약 $330^\circ \sim 10^\circ$)가 날개 사이각 (90°)의 약 1/2 이 되므로 제 2차, 제 3차 날개 진동수 진폭 (P_2, P_3) 이 비캐비테이션 상태에 비해 상당히 크게 나타나게 되고 결과적으로 캐비테이션 상태에서 전체 변동압력 (ΔP)의 상당한 부분을 차지함을 알 수 있다.

6.4. 실선 변동압력 추정 및 판정기준

실험에서 얻은 모조선에서의 변동압력을 이용하여 실선 변동압력을 추정하는 데에는 여러 방식이 있으나 보통 차원 해석에서 얻어진 다음과 같은 관계식을 이용한다.

$$\frac{P_i^S}{P_i^M} = \frac{\rho_S}{\rho_M} \cdot \left(\frac{n_S \cdot D_S}{n_M \cdot D_M} \right)^2$$

여기서, 점자 S, M 은 각각 실선과 모형에 해당하는 값임을 의미한다.

각 날개 진동수 사이의 위상차를 무시하고 5차 이상의

고차 날개진동수 진폭을 무시하면 전체 변동압력 진폭 ΔP 는

$$\Delta P = \sqrt{P_1^2 + 2P_2^2 + 3P_3^2 + 4P_4^2}$$

와 같이 간략히 표시된다.

위의 두 관계식을 이용하여 추정된 실선 최대 변동압력(약 5.2kPa)을 NSMB판정기준[4]

$$2\Delta P_0 < \frac{6.25}{1000} \cdot \frac{V}{D^2} \cdot \frac{a_{x0.8}}{a_z} \cdot \left(0.75 + \frac{75}{L} \right), \text{ kPa}$$

여기서,

$a_{x0.8}$ = 프로펠러 축위 0.8R에서 배길이 방향으로 프로펠러와 선체와의 간격(m)

a_z = 프로펠러 날개끝에서 수직 방향으로 선체까지 간격(m)

D = 프로펠러 직경(m)

L = 선체 길이(m)

V = 배수 용적(m^3)

ΔP_0 = 허용 변동압력의 진폭(kPa)

을 쫓아 해석할 경우, 허용 한계값은 약 10kPa이므로 추정된 실선 변동압력은 허용한계값보다 낮음을 알 수 있다.

6.5. 황동망 반류에서의 실험 결과와의 비교

황동망(KW006) 반류에서 평판에 작용하는 비캐비테이션 상태의 변동압력 Fig. 18와 모조선 반류에서 선체표면에 작용하는 변동압력의 측정결과(Fig. 23)를 비교하여 보며 서로 약간의 차이가 있음을 알 수 있는 바, 이는 평판과 모조선 선체 표면의 형상과 프로펠러부터 측정점까지의 상대적 거리가 다르며, 측방향 속도 성분만을 고려한 황동망 반류분포와 3차원 속도성분이 포함된 모조선 반류분포가 서로 상이하기 때문이다. 다만, 실제 모조선 선체표면에 작용하는 변동압력 분포가 앞서 측정한 평판에서의 결과와 정성적으로 일치함을 알 수 있다. 따라서 보다 신속하게 실험에 의해 변동압력 특성을 파악하고자 할 경우 평판에서의 실험결과를 이용할 수 있으나 정확한 추정이 필요한 경우에는 모조선 선체 표면에서의 변동압력 측정이 불가피하다.

7. 결 언

본 논문에서는 변동압력의 원인과 그 대책을 연구하여 장치 선박설계의 목적에 활용할 수 있는 실험적 접근 방식을 보였다.

즉, 황동망 및 모조선에 의한 반류제현 기법과 프로펠러에 의해 선체표면에 유기되는 변동압력의 계측·

해석법을 확립하였으며, 스윙체리즈 프로펠러의 체계적 실험에 의해 스류가 선미 진동감소에 큰 효과를 준다는 사실을 실험적으로 보였다.

본 연구결과는 과학기술처에서 시행한 일반출연 연구 사업의 일부로 얻어진 것이며, 불모상태인 프로펠러 및 캐비테이션 분야의 연구에 이러한 지원을 해준 데 대해 감사를 표한다.

참 고 문 헌

- [1] Kerwin, J.E. and Lee, C.S., "Prediction of unsteady marine propeller performance by numerical lifting surface theory", *TRANS SNAME*, Vol. 86, 1978.
- [2] Boswell, R.J., "Design, cavitation performance, and open-water performance of a series of research skewed propellers", DTNSRDC report 3339, 1971.
- [3] 이창섭 외 5인, "캐비테이션 터널의 시운전시험 및 캐비테이션 시험법 개발에 관한연구", 한국기계연구소 연구보고서 UCN 131A-276D, 1982.
- [4] "Report of the propeller committee", proceedings of the 16th ITTC, 1981.
- [1] Kerwin, J.E. and Lee, C.S., "Prediction of unsteady marine propeller performance by numerical