

LCT에서 선박용 상호반전 프로펠러 상호작용 특성의 시험적 연구

안중우^{1,†} · 김기섭¹ · 박영하¹ · 이창훈²
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소¹
STX조선해양(주)²

Experimental Study of the Interaction Characteristics for a Marine CRP in LCT

Jong-Woo Ahn^{1,†} · Ki-Sup Kim¹ · Young-Ha Park¹ · Chang-Hun Lee²
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering¹
STX Offshore & Shipbuilding²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In order to develop test and performance analysis techniques for a CRP propulsion, a CRP dynamometer which can be installed inside the model ship was designed and manufactured. The object ship was the 16000TEU container carrier, which has test results for the single propeller. The design concept of the present CRP is that forward & after propellers have the same power ratio and their RPM ratio is 0.75:1. To begin with, we checked the performance of the CRP dynamometer through the calibration and then installed it inside the model ship. After the model ship setup including the design CRP and the rudder in the Large Cavitation Tunnel(LCT), a series of model tests composed of power ratio check, propeller behind wake(PBW) test, cavitation observation and pressure fluctuation tests was conducted. Through the model test and data analysis for CRP, the experimental technique was established and the improved method for CRP design was suggested.

Keywords : CRP(상호반전프로펠러), LCT(대형캐비테이션터널), CRP dynamometer(CRP 동력계), PBW test(반류중 프로펠러 성능시험)

1. 서론

최근 유류비의 상승으로 인하여 상선 등을 중심으로 추진 효율을 높일 수 있는 ESD(Energy Saving Device) 연구가 활발히 진행되고 있다. ESD는 선체 자체에 설치하는 방법이 있으나 추진기에 부가장치로 설치하는 전류 및 후류 스테이터, PBCF(Propeller Boss Cap Fin), 전류 덕트 등과 같은 복합추진 장치가 주로 연구되고 있다. 또한 두 개의 프로펠러가 동축에서 상반 회전하는 CRP(Counter Rotating Propeller) 연구도 진행되고 있는데, 축계 제작 등에 초기 투자 비용이 매우 높지만 다른 ESD 보다 높은 효율 향상을 기대할 수 있는 장점이 있다.

ESD는 복합추진기 상호간에 유동적 관계가 잘 형성될 수 있도록 설계되어야 효율 향상을 기대할 수 있다. 또한 효율향상과 함께 나타나는 캐비테이션 발생도 제어할 수 최적의 설계방법도 개발되어야 한다. 복합추진기 설계방법은 정도 높은 성능시험을

기반으로 개발되어야 하는 바, 정도 높은 실험자료 취득을 위한 모형시험 기법이 우선적으로 개발되어야 한다. 복합추진기는 선미에서 작동함에 따라 점성의 영향이 매우 크게 나타나게 되는 바, 모형선, 복합추진기, 방향타, 부가물 등이 모두 설치된 상태에서 고속 실험이 가능한 대형캐비테이션터널에서의 모형 실험을 수행하는 것이 유리하다. 선박해양플랜트연구소(KRISO)가 보유한 '저소음 대형 캐비테이션터널'(Low Noise Large Cavitation Tunnel, 이하 'LCT'로 칭함)은 지난 2009년도 후반기에 제작 설치 및 시운전이 완료되어 (Kim, et al., 2010; Ahn, et al., 2015) 모형시험 단계에서 일반 프로펠러 추진기를 대상으로 정도높은 실선성능 예측을 위한 시험기법 개발을 수행해 왔으며, 모형선-실선 상관관계 연구를 통하여 실선 변동압력의 예측 정도가 좋은 것으로 평가된 바 있다 (Kim, et al. 2013).

본 연구의 목적은 LCT에서 상호반전 프로펠러(CRP) 성능시험법을 개발하여 전·후부 프로펠러 상호작용 특성을 시험적으로 파

약하고 성능을 해석하여 설계 개선 방안을 제시하는 것이다. 기존 연구는 예인수조에서 자항시험을 수행하고 실선성능 추정 방법을 연구하였는데 (Min, et al., 2009), 본 연구는 LCT에 모형선을 설치하고, 높은 유속에서 상호반전 프로펠러의 성능을 계측하고 평가한다. 실험법 개발을 위하여 전·후부 프로펠러 각각의 추력 및 토크를 계측할 수 있는 고용량 복합추진기 구동장치 및 동력계를 설계 및 제작하였으며, 대상선을 선정하여 소모동력비검증 및 PBW(Propeller Behind Wake) 시험, 캐비테이션 관찰 및 변동압력 계측을 수행하였다. 결과 해석을 수행 후 기존 단축 프로펠러 시험 결과와의 비교를 통하여 설계 개선 방안을 제시하였다.

2. 모형선용 복합추진기 동력계

모형선용 복합추진기 동력계는 상선에 추진효율 향상을 위하여 설치되는 ESD의 일종인 상호반전 프로펠러(CRP)의 성능을 검증하기 위하여 모형선 내부에 설치하여 LCT에서 PBW 및 캐비테이션 시험을 수행하기 위하여 설계제작된 장비이다. 상호반전 프로펠러는 동심축 상에 설치되는데, 성능 및 캐비테이션 시험시 각각의 프로펠러의 회전과 함께 추력 및 토크를 계측하여야 한다. 따라서, 동심축 상에 내부와 외부 2개의 축이 존재하고 동력계 내부에 전부 및 후부 각각의 프로펠러에서 발생한 추력 및 토크를 계측할 수 있는 센서가 부착되어야 한다. Fig. 1은 본 연구에서 개발된 모형선용 복합추진기 동력계 및 구동장치 결합 형상을 보여주고 있다. 동축에 2개의 축이 존재하면서 회전수도 각각 조정되어야 함에 따라 2개의 구동모터가 요구된다. 구동모터는 수중에서 작동됨에 따라 방수형이 요구되었으며, Fig. 1과 같이 거의 병렬형 배치를 위하여 직경이 작을수록 유리하였다. 병렬배치가 안될 경우 모터와 동력계 사이에 축의 길이가 길어져 축계 진동에 원인이 되기도 한다. 내부축은 하부에 설치된 모터에 직결되었으며, 외부축은 상부에 배치된 모터와 타이밍 벨트로 연결하여 회전력을 전달한다. 복합추진기 동력계 시스템은 수중에서 작동함에 따라 별도의 냉각장치는 요구되지 않는다. 구동모터는 직경이 약 138 mm이며, 길이 907 mm인 22 kW 용량의 수중용 AC 모터이다.

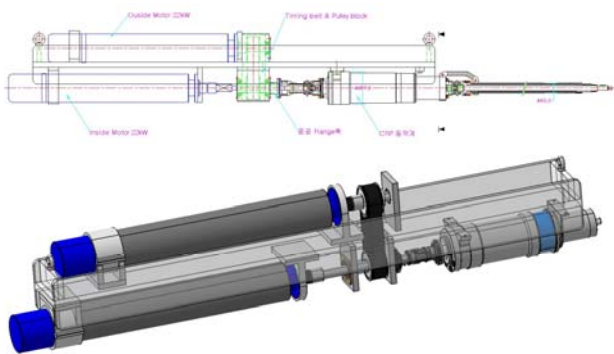


Fig.1 Dynamometer & motors for compound propulsor

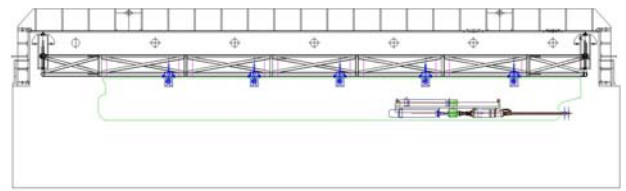


Fig. 2 Arrangement of a model ship & a dynamometer system

복합추진기 동력계는 내부압력이 가변되는 (0.1~3.0 bar) LCT 시험부에서 사용됨에 따라 동력계도 수중용으로 제작되어야 하며 약 10 m/s의 고속유동 조건에서도 PBW 및 캐비테이션 시험이 수행되는 것이 요구된다. 요구사항에 따라 결정된 동력계 설계 사양은 Table 1에 정리되어 있다. 전부 및 후부 각각의 프로펠러의 계측한도는 Table 1에 나타난 것과 같이 추력 1,500N, 토크 60N-m, 회전수 2000 RPM 이다. 단축 상선용 프로펠러 동력계 추력이 2,200N, 토크가 80N-m 이므로 한 축당 계측 용량이 높은 편이다.

Fig. 2는 복합추진기 동력계 시스템을 모형선에 장착하여 LCT 시험부에 설치한 배치도를 보여준다. 구동모터 및 동력계가 알루미늄 구조물에 일체로 고정되도록 하여 모형선 내부에 설치가 용이하도록 설계를 하였다. 배치도에서 볼 때 대상 모형선 내부 배치에 문제는 없을 것으로 사료된다.

Table 1 Specification of compound propulsor dynamometer

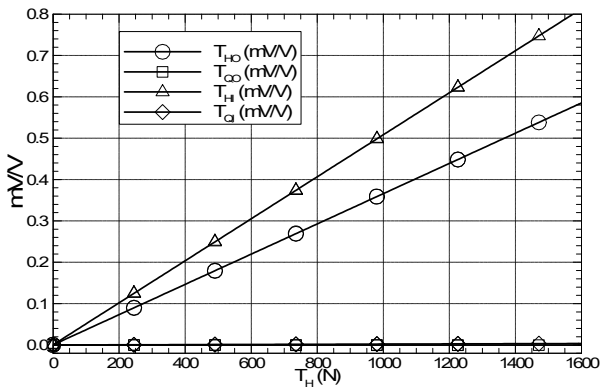
Type		Underwater
Total Capacity	Thrust (N)	±3000
	Torque (N-m)	±120
Capacity	Thrust In & Outside (N)	±1500
	Torque In & Outside (N-m)	±60
	Revolution In & Outside (rpm)	±2000
Non-Linearity (% of F.S.)		±0.3
Hysteresis (% of F.S.)		±0.3
Repeatability (% of F.S.)		±0.2
Allowable Overload (% of F.S.)		±150

동력계 및 구동장치 조립에 앞서 새로 개발된 복합추진기 동력계 성능 검증을 위하여 Fig. 3에서 보여지는 것과 같이 전용 캘리브레이션 장치를 제작하여 동력계 캘리브레이션을 수행하였다. 복합추진기 동력계 내부 및 외부 축에 연결된 추력(T_{HI} , T_{HO}) 및 토크(T_{Qi} , T_{QO}) 각각에 대하여 캘리브레이션 작업을 별도로 수행하였다. Fig. 4-(a)는 추력(T_H) 캘리브레이션 결과를 보여주고 있다. 정해진 하중에 대한 계측신호의 선형성(linearity), 반복성(repeatability) 등이 매우 좋은 것으로 나타났다. 또한 추력 캘리브레이션시 토크에 반응신호가 거의 없어 추력 및 토크 간에 간섭은 거의 없는 것으로 나타났다. Fig. 4-(b)는 토크(T_Q)

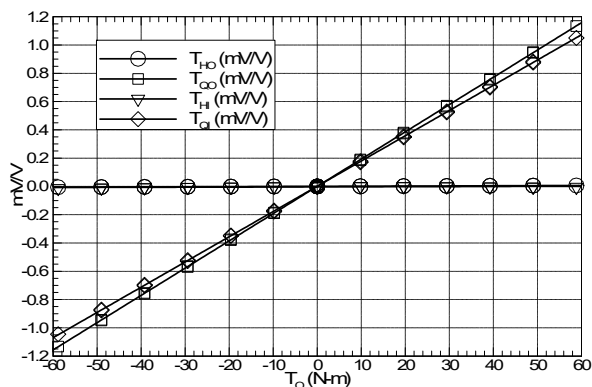
캘리브레이션 결과를 보여주고 있다. 추력과 같이 계측신호의 선형성(linearity), 반복성(repeatability) 등이 매우 좋으며, 추력에 반응신호가 거의 없는 것으로 나타났다.



Fig. 3 Calibration for CRP Dynamometer



(a) Thrust calibration results



(b) Torque calibration results

Fig. 4 Calibration results for CRP Dynamometer

캘리브레이션이 종료된 후 구조물에 복합추진기 동력계를 조립하였다. 복합추진기 동력계 시스템은 크레인을 이용하여 Fig. 5와 같이 모형선에 설치된다. 설치구조물은 높이 조절 기능이 있어 선형에 따라 축설치 높이를 조절할 수 있다.

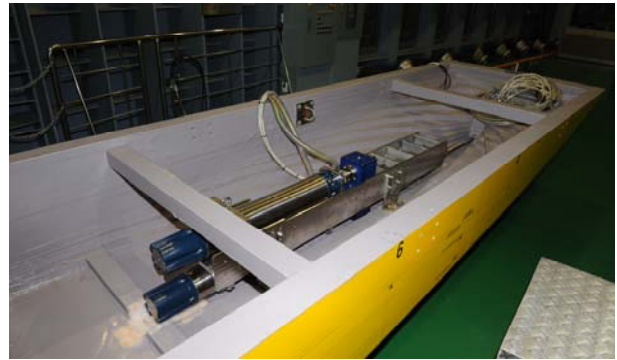


Fig. 5 Dynamometer system installed inside a model ship

3. 상호반전 프로펠러 설계 및 성능시험

복합추진기 성능시험법 개발을 위한 상호반전 프로펠러를 설계하기 위하여 선정된 대상선은 16000TEU 컨테이너선이다. 기존에 단축 프로펠러(single propeller)를 대상으로 LCT에서 캐비테이션 시험을 수행한 바 있어 본 연구에서 설계되는 상호반전 프로펠러와 성능비교가 가능하다. 상호반전 프로펠러 설계개념은 Table 2에 나타나 있다. 전부(FWD) 및 후부(AFT) 프로펠러 소요 동력 비율(P_F/P_A)은 동일하며 회전비(n_F/n_A)는 0.75로서 전부 프로펠러가 후부보다 작은 회전수로 작동된다. 전부 프로펠러 직경(D_F)보다 약 4% 작은 후부 프로펠러의 직경(D_A)은 단축 프로펠러 직경과 동일하며, 설계회전수도 동일하다. 날갯수는 전부 4개, 후부 3개로서 회전비와 역비례 관계를 갖는다. 전부와 후부 프로펠러 사이에 거리(L)는 약 2.0 m 이다. 이와 같은 개념을 가지고 설계되어 제작된 모형프로펠러는 Fig. 6에 나타나 있다.

Table 2 Design specification of CRP & single propeller

	CRP		Single Propeller
	FWD	AFT	
Power	26,801kW	26,801kW	53,802kW
RPM(ratio)	60.8 (0.75)	81.1 (1.0)	81.1(1.0)
Diameter(m)	10.2	9.8	9.8
Blade No.	4	3	6
Prop. No.	KP1151	KP1152	KP1084

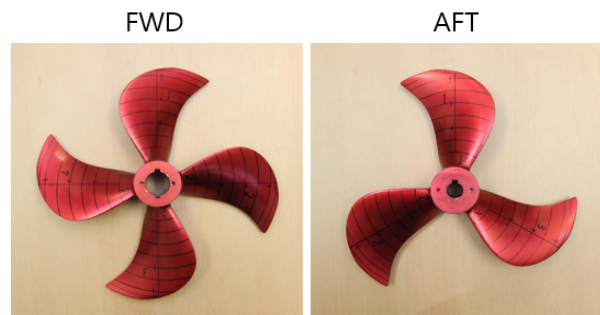


Fig. 6 Model CRP



Fig. 7 Model ship installed in LCT test section

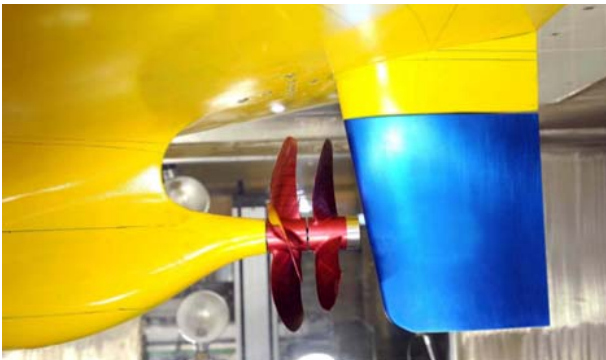


Fig. 8 CRP installed at the model ship

복합추진기 동력계 시스템이 설치된 모형선은 Fig. 7과 같이 LCT 시험부에 설치된다. 설치 흡수는 설계 흡수를 기준으로 경계층 등에 영향을 최소화 하기 위하여 모형선에서 70 mm의 추가 흡수를 주었다. Fig. 8은 모형선에 설치된 상호반전 프로펠러를 보여준다. 설치 완료 후 회전비에 대한 소요동력 비 검증, 유속 별 PBW(Propeller Behind Wake) 및 캐비테이션 시험을 수행하였다.

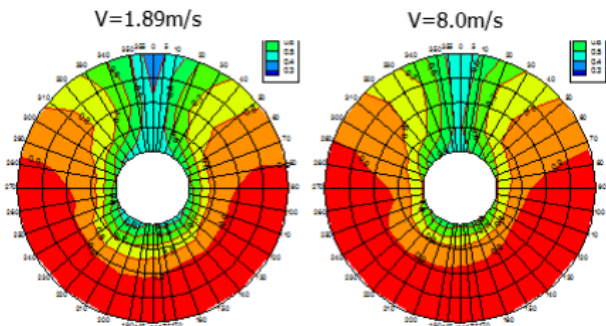


Fig. 9 Nominal wake distribution in LCT

상호반전 프로펠러 성능시험에 앞서 프로펠러 및 방향타를 제거하고 LCT에서 Fig. 9와 같이 공칭반류를 계측하였다. 예인수조 반류계측 유속(1.89 m/s)과 LCT 캐비테이션 시험 유속(8.0m/s)에서 공칭반류를 계측하였는데, 유속 8.0m/s에서의 반류분포가 중심을 향해서 상당히 수축된 것을 볼 수 있다. 기존에 컨테이너선을 대상으로 공칭반류와 변동압력의 모형선-실선 상관관계를 연

구한 바 있는데 (Kim, et al., 2013), LCT에서 계측된 변동압력이 실선 계측값과 유사하여 공칭반류 분포가 실선에 접근하고 있음을 제시한 바 있다. 일반적으로 LCT 시험부 선속 6.0 m/s 정도면 공칭반류 분포가 수렴되어 유속 증가에 따른 반류분포 변화가 적은 것으로 판단한 바 있다. ESD의 효율 증가는 모형과 실선에서의 차이가 나타나는데, 이는 경계층 차이에서 기인한다고 사료된다. 실선에 접근하는 반류에서 성능시험을 수행하는 것이 좀더 타당한 결과를 도출할 것이다.

PBW 시험은 Fig. 7과 Fig. 8에 나타난 설치상태에서 수행되었다. 우선 소요동력 비(Power ratio, P_F/P_A)의 검증이 Fig. 10과 같이 수행된다. Fig. 10은 후류 프로펠러 전진계수($J_{SA}=V/n_A D_A$) 변화에 대한 소요동력비의 분포를 보여준다. 시험부 유속 5.0 m/s에서 전부 및 후부 프로펠러 회전비(n_F/n_A)를 0.70, 0.75, 0.80으로 변화시킨 결과 당초 설계 개념대로 0.75에서 소요동력 비 1.0에 가장 가깝게 접근한다. 회전비 0.75에서 시험부 유속을 변화시킨 바, 소요동력비의 변화가 거의 없었다. 운항점에서 동일한 소요동력비를 얻으려면 설계 개선이 요구된다. 현재의 연구는 전부 및 후부 프로펠러 회전비를 고정하는 기어시스템이 결정되었다는 가정 하에 진행되었다. 만약 실험 결과를 반영하여 회전비를 변경할 수 있다면 운항점에서 소요동력비를 동일하게 조절할 수 있을 것으로 사료된다.

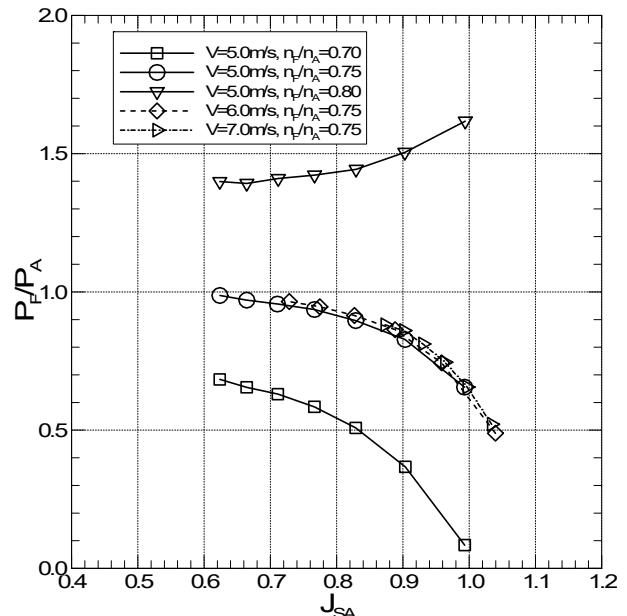


Fig. 10 Power ratio (change of rps ratio & velocity)

전부 및 후부 프로펠러 회전비 0.75에서 LCT 시험부 유속을 변화시키면서 수행한 PBW시험 결과는 Fig. 11에 나타난다. 전부 및 후류 프로펠러에서 계측된 결과를 각각 표시하였는데, 유속변화에 대한 K_T , K_Q 의 변화는 거의 없는 것으로 보인다. 높은 속도에서 고회전수에서의 실험을 충분히 수행할 수 없었는데, 복합추진기 동력계 구동시스템의 한계로 프로펠러 회전수가 2000 RPM으로 제한되었기 때문이다. 따라서, 추후에 구동시스템의 개선이

요구된다. Fig. 11에 나타난 전부(FWD) 및 후부(AFT) 프로펠러의 전진계수(J_s)와 추력(T_h) 및 토크(T_Q) 계수는 각각의 제원 및 계측값을 이용하여 다음과 같이 정의된다.

$$J_{SF} = \frac{V}{n_F D_F}, K_{TF} = \frac{Th_F}{\rho n_F^2 D_F^4}, K_{QF} = \frac{T_{QF}}{\rho n_F^2 D_F^5} \quad (1)$$

$$J_{SA} = \frac{V}{n_A D_A}, K_{TA} = \frac{Th_A}{\rho n_A^2 D_A^4}, K_{QA} = \frac{T_{QA}}{\rho n_A^2 D_A^5}$$

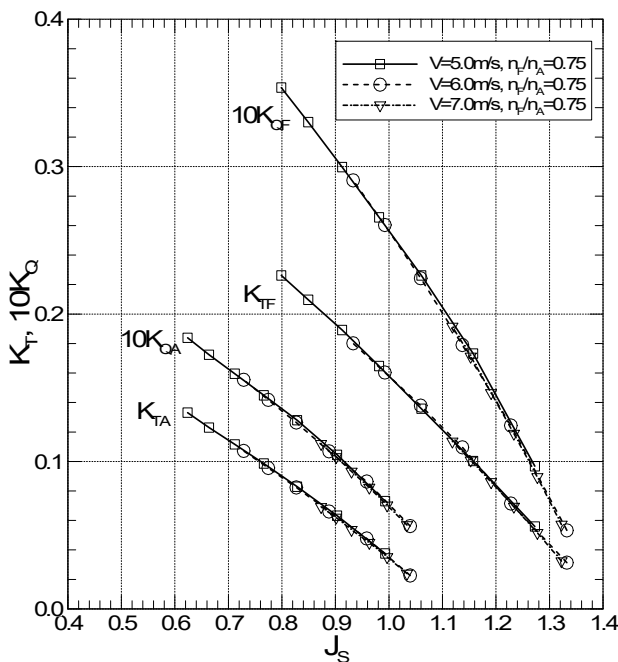


Fig. 11 PBW test results of each propeller

4. 상호반전 프로펠러 결과 고찰

본 연구에서 사용한 상호반전 프로펠러는 Table 2에서 보는 바와 같이 후류 프로펠러의 직경과 설계 회전수는 단축 프로펠러와 같다. 따라서, 해석을 위한 기준을 후류 프로펠러로 설정하는 경우 단축 프로펠러 시험 결과와 비교가 가능하다. 이런 이유로 외국의 MARIN의 경우 전부 프로펠러를 기준으로 상호반전 프로펠러 해석을 수행했지만 (Van, 1968), 본 연구에서는 후류 프로펠러를 기준으로 해석을 수행한다.

본 연구에서 대상으로 사용한 16000 TEU 컨테이너선의 경우 단축 프로펠러(KP1084)를 가지고 LCT에서 캐비테이션 시험을 수행한 바 있어 예인수조 자항시험 결과로부터 운항조건을 도출한 자료가 있다. 상호반전 프로펠러 PBW시험 결과와 기준 비교 자료로서 적합할 것으로 사료된다. 후류 프로펠러를 기준으로 해석을 수행하기 위한 전진계수(J_s), 총 추력계수(K_T), 총 토크 계수(K_{QT}) 및 모형선 후류 효율(η_{BT})은 다음과 같이 정의된다.

$$J_s = \frac{V}{n_A D_A}, K_{TT} = \frac{Th_F + Th_A}{\rho n_A^2 D_A^4}$$

$$K_{QT} = \frac{n_F T_{QF} + n_A T_{QA}}{\rho n_A^3 D_A^5} \quad (2)$$

$$\eta_{BT} = \frac{Th_F V + Th_A V}{2\pi n_F T_{QF} + 2\pi n_A T_{QA}}$$

상기 무차원 방법으로 수행된 상호반전 프로펠러의 PBW 시험 결과 해석은 Fig. 12에서 볼 수 있다.

회전비 0.75에서 실험한 3개 선속 해석결과가 포함되어 있는데, 전반적으로 유사한 결과를 보여준다. 단축 프로펠러(KP1084) 캐비테이션 시험은 8.0 m/s에서 수행되었는데, 캐비테이션 시험 결과로부터 얻은 무차원 계수(K_T , $10K_Q$, η_B)를 함께 표시하였다. 단축 프로펠러의 추력계수는 PBW 시험 결과와 차이가 크다. 상호반전 프로펠러 총 추력계수 선은 단축 프로펠러 운항점과 거의 일치하여야 하지만, 차이가 있어 여러 가지 상황에 대한 물리량의 비교를 수행하여 Table 3에 정리하였다. Table 3에 CRP 결과는 5.0m/s의 결과를 정리하였다. Fig. 12에 표시되어 있는 단축 프로펠러의 운항조건 및 효율에 대하여 동일 전진계수(J_s), 추력(Thrust) 및 추력계수(K_T)에서 상호반전 프로펠러 성능과 비교를 하였다. 동일 전진계수는 추력 차이가 커서 비교 대상은 되지 않을 것이다.

Table 3 Comparison between single propeller and CRP

	single propeller	CRP		
		same J_s	same thrust	same K_T
J_s	0.8220	0.8220	0.7870	0.7548
K_T	0.2135	0.1761	0.1958	0.2135
$10K_Q$	0.3541	0.2487	0.2696	0.2883
η_B	0.7889	0.9267	0.9096	0.8895
K_T/J_s^2	0.3160	0.2606	0.3161	0.3747

Fig. 12에 나타난 동일 추력선은 시험부 유속에 따른 모형선 반류는 유사하다는 가정하에 단축 프로펠러 캐비테이션 시험시 계측된 추력을 PBW 시험 속도(5.0 m/s)에 맞추어 구한다. 이를 상호반전 프로펠러 합산 추력과 동일하다는 가정하고 내삽법(interpolation)을 이용하여 동일 추력선을 구하였다. Table 3에서 동일 추력선의 K_T/J_s^2 는 단축프로펠러의 그것과 거의 일치하는 결과를 보여준다. 프로펠러 직경이 같은 경우 동일 추력선이 곧 K_T/J_s^2 임을 알 수 있다. 동일 추력계수 점도 Fig. 12의 총 추력계수(K_{TT}) 선에서 내삽법으로 구하였다. 동일 추력계수에서의 상호반전 프로펠러의 모형선 후류 효율이 단축 프로펠러에 비하여 10% 이상 증가된 것으로 나타났다. 현재 상호반전프로펠러는 대상선박의 운항점에 도달하지 못함에 따라 효율 증가 정도는 큰 의미가 없다. 앞으로 개선 설계를 수행하고 요구 운항조건을 만

족한 후에 추진효율을 비교하는 것이 타당하다고 사료된다. 총 추력계수(K_{TT})선이 단축 프로펠러 추력계수(K_T) 점과 일치하는 운항조건 충족을 위하여 피치를 증가시켜 하중을 증가시키는 방향으로 설계가 개선되어야 함을 알 수 있다.

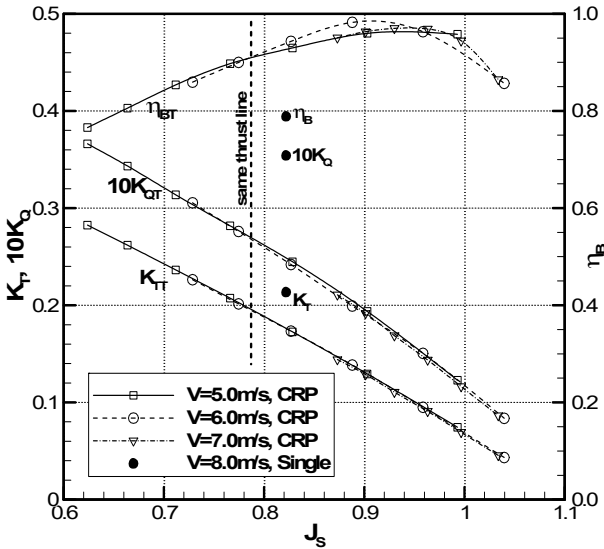


Fig. 12 PBW analysis result for CRP

5. 상호반전 프로펠러 캐비테이션 시험

상호반전 프로펠러 캐비테이션 시험은 설계 변경이 요구되는 단계에서는 결과에 큰 의미가 없지만, 캐비테이션 발생량 및 거동 등 생성 경향을 조사하기 위하여 수행되었다. 하중이 비교적 높은 조건에서 캐비테이션 실험을 수행하고자 전부 프로펠러 직경(DF)과 후류프로펠러 회전수(n_A)를 가지고 얻은 추력계수를 단일프로펠러(KP1084) 캐비테이션 조건의 추력계수와 동일하게 하여 시험조건을 도출하였다. 이렇게 얻은 시험 조건을 후류 프로펠러를 기준으로 식 (2)와 같이 정리하면 Table 4와 같다. 단축 프로펠러와 비교하여 캐비테이션 수는 동일하지만 추력계수가 약 18% 정도 높아 캐비테이션 발생량이 증가할 가능성이 있다.

Table 4 Cavitation test condition for CRP

J_s	K_{TT}	σ_{n07R}	$10K_{QT}$
0.6838	0.2512	1.8777	0.3310

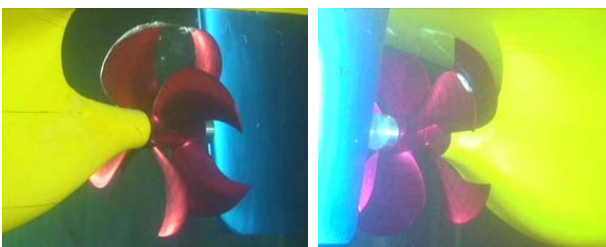


Fig. 13 Cavitation observation test for CRP

Table 4의 조건에서 수행된 상호반전 프로펠러 캐비테이션 관찰 결과는 Fig. 13에서 볼 수 있다. 캐비테이션 발생량은 크지 않은데, 후류 프로펠러에서 압력면 캐비테이션(face cavitation)이 발생되었다. 제시된 운항조건을 맞추려면 날개 하중을 올리는 설계를 수행해야 하는데, 설계 개선을 하게 되면 후류 프로펠러 압력면 캐비테이션도 고려하여야 한다고 사료된다. Fig. 14는 변동압력 센서 설치 위치를 보여준다. 전·후부 프로펠러가 존재함으로써 프로펠러 면과 변동압력 센서 중심선을 맞추기가 어렵다. 추후에 상호반전 프로펠러 캐비테이션 시험이 활성화되면 기준이 마련되어야 할 것으로 사료된다. 상호반전 프로펠러의 경우 전·후부 프로펠러 회전수에 차이가 있어 harmonic 성분이 2종류로 생성될 가능성이 있는데, 현재는 전·후부 프로펠러 회전수 비가 0.75:1 날개수 비가 4:3으로 harmonic 성분이 일치한다. 캐비테이션 관찰 시험과 동시에 수행된 변동압력 계측 결과는 Fig. 15에서 볼 수 있다. 캐비테이션 발생량에 비하여 변동압력 1차 성분이 큰 것으로 보이는데, 변동압력 특성은 좋은 편이다. 설계 개선을 수행하여 운항조건에서 캐비테이션 시험을 수행하게 되면 변동압력 특성은 더욱 개선되리라 사료된다.

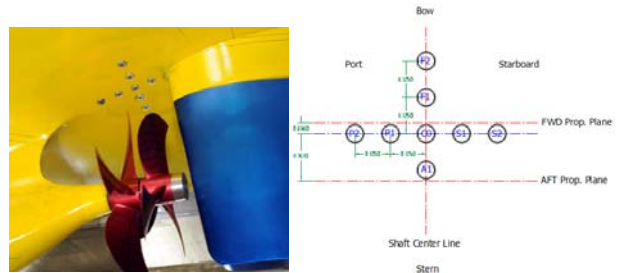


Fig. 14 Position of pressure sensors

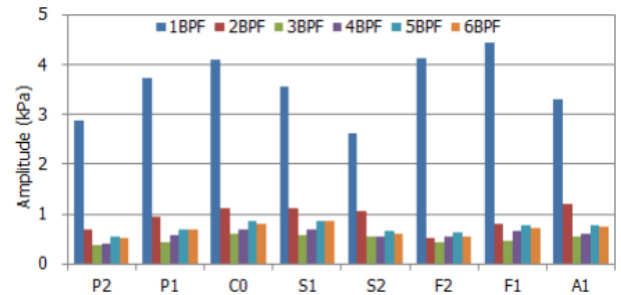


Fig. 15 Pressure fluctuation results for CRP

6. 결론

상호반전 프로펠러 특성 파악을 위한 실험적 연구를 위하여 복합추진기 동력계 시스템을 설계제작하였으며, 동력계 캘리브레이션을 통한 검증을 수행하여 추력 및 토크 간에 신호간섭이 없는 우수한 성능을 확인하였다. 동력계 검증 후 복합추진기 동력계 시스템을 대상선인 16000TEU 컨테이너선에 장착 후 LCT에서 공칭반류 계측, 회전비에 대한 소오동력비 검증, PBW 시험, 캐비테이션 관찰 및 변동압력으로 구성되는 상호반전 프로펠

러 성능시험을 수행하였다. 공칭반류는 예인수조 시험 선속과 LCT의 캐비테이션 관찰 선속에서 계속되었는데, 고속에서 반류 분포가 상당히 수축되어 유입유속이 증가되는 경향이 있었다. 공칭반류가 비교적 수렴된 영역에서 PBW 시험을 수행하여야 정도 높은 자료를 얻을 수 있을 것이라 사료된다. 소요마력비는 설계 사양에서 제시한 전·후부 프로펠러 회전비(0.75:1)에서 거의 동일 하였지만 개선이 요구된다. PBW 및 캐비테이션 시험은 0.75:1 회전비에서 수행되었다. LCT에서 시험부 유속 5.0m/s 이상의 고속에서 PBW 시험을 수행한 결과 계속 결과의 차이는 거의 없었다. 모형선 반류분포가 비교적 수렴이 되었다고 사료되지만, 추후 캐비테이션 시험이 수행되는 고속에서 실험을 수행하려면 복합추진기 동력계 구동시스템을 개선할 필요가 있다.

후류프로펠러 직경 및 회전수가 대상선에 장착된 설계프로펠러(KP1084)와 동일하여 본 연구에서 후류프로펠러를 기준으로 상호반전 프로펠러 성능을 해석하였다. 대형캐비테이션터널에서 설계프로펠러를 장착하고 캐비테이션 시험을 수행한 바 있어, 이때 얻은 추력 및 토크를 이용하여 상호반전 프로펠러 PBW 시험 결과와 비교를 수행하였다. 본 연구에서 설계된 상호반전 프로펠러는 예인수조 자항시험 결과로부터 도출된 설계프로펠러의 운항점과는 큰 차이가 있었지만 모형선 반류하에 효율은 증가할 것으로 판단된다. 그러나, PBW 시험 결과가 단축프로펠러 운항점과 일치해야 정확한 효율 증가 정도를 언급할 수 있는 바, 실험 해석 결과를 바탕으로 CRP 하중을 증가시키고 후류 프로펠러에서 발생한 압력면 캐비테이션을 고려하여 설계 변경을 수행해야 할 것으로 보인다.

LCT에서 설계 프로펠러를 가지고 캐비테이션시험을 수행한 경우 이를 대상으로 하여 상호반전 프로펠러를 개발하게 되면 본 연구에서 개발한 실험기법을 이용하여 초기설계 단계의 설계 방향을 제시할 수 있을 것이다. 또한 캐비테이션 성능도 사전에 검증할 수 있어 개발기간을 단축할 수 있으리라 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 방위사업청이 지원하는 민군기술 협력사업 민군기술개발과제 ‘선박용 CPP 캐비테이션 초생선속 최적 설계기술 개발’ 과제(PNS2780)와 ‘추진기 소음저감기술을 응용한 추진기침식 모형시험법 개발과 추진기 소음저감기술 고도화 (PES8910)’과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Ahn, J.W. Kim G.D. Kim, K.S. & Park Y.H., 2015. Performance trial-test of the full-scale driving pump for the Large Cavitation Tunnel(LCT). *Journal of Society of Naval Architects of Korea*, 52(6), pp.428-434.
- Kim, K.S. Paik, B.G. Ahn, J.W. Park, Y.H. & Kim, G. D., 2010. A propeller cavitation test and PIV measurements method in LCT and MCT of MOERI. *IPS'10*, Okayama, Japan, 19-20 April 2010, pp.6-16.
- Kim, K.S. Ahn, J.W. Park, Y.H. Kim, G.D. Kim, S.P. Yu, Y.W. & Lee, C.S., 2013. Correlation study on pressure fluctuation measurement at large cavitation tunnel with full-scale data for two container carriers. *12th PRADS*, Changwon, Republic of Korea, 24-27 October 2013.
- Min, K.S. Chang, B.J. & Seo, H.W., 2009. Study on the contra-rotating propeller system design and full-scale performance prediction method. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1, pp.29-38.
- Van Manen, J.D. & Oosterveld, M.W.C., 1968. Model tests on contrarotating propellers. *7th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Rome, Italy



안종우

김기섭

박영하

이창훈