

2축 Waterjet 추진 시험선 건조 및 실험역 성능 시험

김기섭^{†*}, 고창두*, 안종우*, 박영하*, 이창용*, 이교상**, 김경래**

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*
두산중공업(주)**

Construction of a Test Ship with Two Waterjet Propulsion System and Its Sea Trial Test

Ki-Sup Kim^{†*}, Chang-Doo Koh*, Jong-Woo Ahn*, Young-Ha Park*, Chang-Yong Lee*
Kyo-Sang Lee** and Kyung-Rae Kim**

Maritime & Ocean Engineering Research Institute / KORDI*
Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd.**

Abstract

This paper describes the design and construction of a test ship with waterjet propulsion system for sea-trial test. Local flow characteristics around intake and nozzle of a operating waterjet propulsion system are measured at a sea trial to investigate between hull and waterjet propulsion. Flow rate is corrected by bollard pull test and shaft power is measured directly using a torque meter. The measured results are compared with the predicted results on the basis of DB. Those experimental data will be useful for the future works to develop the model test method and method for powering performance prediction.

※Keywords: Test ship(시험선), Waterjet propulsion(물분사 추진), Sea trial test(시운전), Momentum flux method(모멘텀 해석법)

1. 서론

선박의 추진성능 추정 및 해석 방법 측면에서 프로펠러 추진장치를 장착하는 선박과 물분사 추진장치를 장착한 선박의 경우에 상이한 점이 많다. 물분사 추진선박의 추진성능 시험과 해석을

위한 계측항목 및 계측방법에 따라 계측시스템 구성, 해석방법, 소요시간 및 성능추정법 등이 선정된다. 따라서 전 세계적으로도 기관별 상황에 적합한 방법을 채택하고 있는 상황이다.

일반프로펠러 선박의 경우에는 많은 실적선 자료가 확보되어 있는 반면에 물분사 추진장치 선박의 경우에는 성능특성을 확인 및 검증할 수 있는 세부적인 자료가 전 세계적으로도 매우 제한적이다. 따라서 최근에 ITTC에서는 동일한 모형선, 물분사 추진장치를 제작하여 기관별 모형시험 결과

접수일: 2005년 7월 14일, 승인일: 2005년 9월 30일

†주저자, E-mail: kksprop@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7251

를 비교하고 시험적 해석 방법을 정립하기 위하여 국제공동연구를 진행하고 있다. 이에 국내에서는 한국해양연구원, 현대중공업, 삼성중공업이 일부 시험항목에 참여하고 있다.

실선성능을 추정하기 위한 시험 수행에는 많은 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 실선의 1/3.2 크기의 시험선(일명 질풍호)을 설계 및 제작하였다. 시험선은 선형, 물분사 추진장치, 축계, 조향장치, 유압제어장치, 조타장치 등을 자체 설계 제작하였다(김기섭 등 2003). 시험방법은 21차 ITTC가 제시한 Momentum Flux 방법으로 채택하고 해석에 필요한 계측항목은 선속, 축 토오크, 축 회전수, 흡입구 경계층유동 유속분포, 제트 분사류 유속분포, 유량 등이다. 이렇게 계측한 물리량을 바탕으로 해석에 필요한 자료를 확보하고, DB기반 추정자료와 비교하여 타당성을 검증한다.

2. 시험선(질풍호) 설계

본 연구에서 설계·제작된 시험선은 추정할 실선의 1/3.2의 축척비를 가지며 주요제원은 Table 1에서 보는 바와 같다.

시험선은 추진성능 해석 상사법칙을 적용하기 위하여 기하학적으로 상사하게 제작하였다. 주요 시험 상태인 만재흡수에서의 배수량은 물론 운항 상태의 자세를 결정하는 무게중심위치를 상사시켜야 한다. 그러나 시험선에서는 실선의 중량분포와는 달리 선수부 쪽에 설치될 거주구 및 다른 의장품이 설치되지 않고 상대적으로 기관실 중량이 크기 때문에 대부분의 무게가 선미 쪽에 치우치게

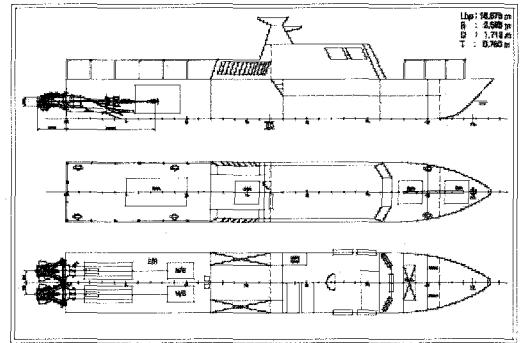


Fig. 1 General arrangement of test ship

되며 결국 과도한 선미트림을 유발하게 된다.

이를 해결하기 위하여 기관실 중량을 제외한 대부분의 중량을 가능한 선수 쪽에 배치하기 위하여 상부구조물을 실선보다 더 선수로 이동하였다. 선체는 필요한 강도를 만족시키는 범위에서 가능한 경량화하고, 여유 중량을 이용하여 선수에 고정 발라스트를 하였다.

시험선의 일반배치는 선수로부터 고정 발라스트를 할 공간에 창고를 설치하고 내부에 축전지와 고정 발라스트를 채웠다. 그 뒤로 조타실을 두고, Waterjet 제어용 Hydraulic power pack을 설치할 구획을 두며 제일 뒤쪽에 기관실을 두었다. 기관실의 중량이 선박의 중심에 가장 큰 영향을 주므로 엔진을 가능한 선수 쪽으로 배치하기 위하여 기관실 구획을 가능한 크게 잡았다.

기관실로의 공기흡입은 실선에서 상부구조물이지만 시험선으로 축소하였을 때 높이가 낮아 활용이 곤란한 조타실 후부의 공간을 이용하여 기관실로 공기가 흡입될 수 있는 흡입구를 배치하였다.

물분사 추진장치 및 유동계측은 우현쪽을 사용하며, Waterjet 흡입유도관 입구의 유속 측정을 위한 Pitot Tube 설치 공간을 우현에 두었다.

시험선의 일반배치도는 Fig. 1과 같다.

시험선의 선체재료는 고속선의 재료로 많이 사용되는 FRP를 사용하였다. 선체구조의 스캔들링은 시험선의 중량과 중심이 실선의 운항조건과 상사를 이루어야 하므로 이를 고려하여 필요한 강도만 만족하는 범위에서 가능한 경량 구조로 하였다. 선체구조 주요부재의 FRP 스캔들링은 다음과

Table 1 Principaldimensions

Length of Water Line	16.875 m
Breadth(mld.)	2.563 m
Depth(mld.)	1.713 m
Draft(Full Load)	0.750 m
Displacement(Full Load)	14.0 ton
Main Engine	2 x 225kW
(VOLVO TAMD61A 2sets)	x 2800RPM

같다.

- 선체외판 : G+4R+M+4R+M
- Center girder : 120*(100+80) M+5R+M
- Longitudinal : 50*(70+50) M+3R+M
- 갑판 : M+4R+M
- Deck center girder : 90*(80+60) M+3R+M
- Deck long. : 4*50*(70+50) M+3R+M
- 상부구조물 : M+3R+M

중양횡단면 선체구조는 Fig. 2와 같다.

추정된 시험선의 중량은 Table 2에서 보는 바와 같다.

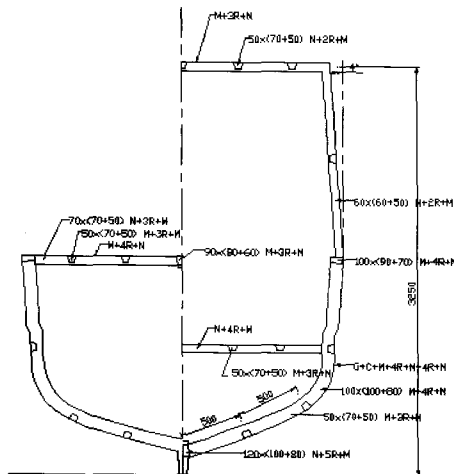


Fig. 2 Midship section

Table 2 Total weight estimation

항목	weight (kg)	LCG	LCG Moment
선체	5,027		41,493
기관의장	5,922		23,490
선체의장	723		8,106
L/W	11,672		73,089
w/j 물	400	1.0	400
사람, 장비	500	10.0	5,000
연료	400	12.25	4,900
발라스트	1,028	15.0	15,420
배수량	14,000	7.057	98,809

3. 시험선 제작

시험선 선체 제작은 실선의 선형을 축척한 크기로 FRP로 제작하기 위하여 Mould를 만들고 그 안에 선체외판을 적층하고 보강재를 붙인 다음, Mould에서 탈형을 하고 갑판과 상부구조물을 탑재하여 완성하였다(Fig. 3). 주기관은 당 연구원에서 수행한 복합지지 고속선의 시험선인 “나래”호에 사용하던 것을 본 시험선에 탑재하였다.(Fig. 4) Fig. 5는 선저에서 우현측 흡입구를 바라본 모습이다. 물분사 추진장치는 유도관, Impeller, Stator 순으로 조립되었다(Fig. 6).

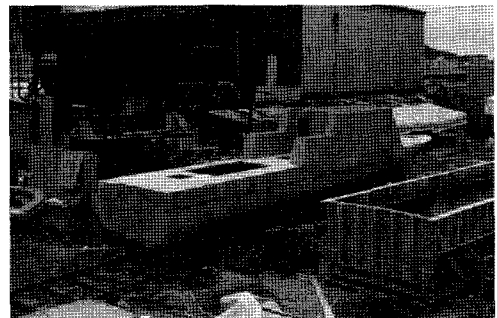


Fig. 3 Hull and superstructure of test ship

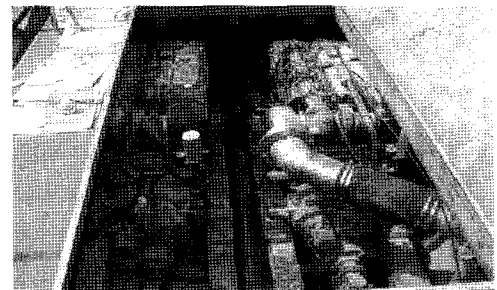


Fig. 4 Installation of main engine



Fig. 5 Installation of inlet duct

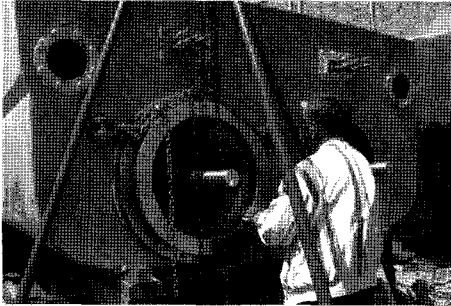


Fig. 6 Installation of shaft and impeller

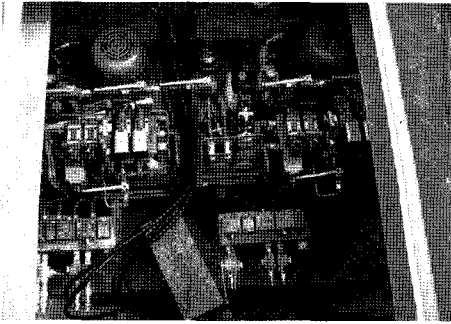


Fig. 7 Installation of hydraulic power pack

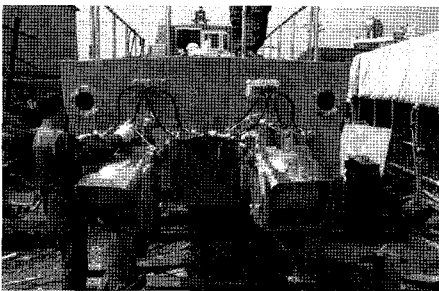


Fig. 8 Assembly of steering nozzle and bucket

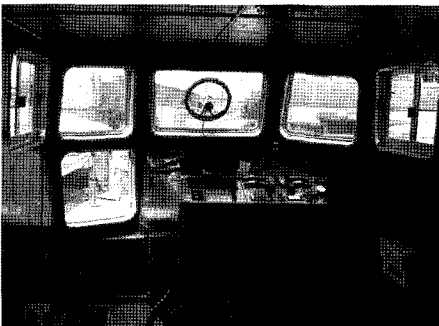


Fig. 9 The inside of wheel house

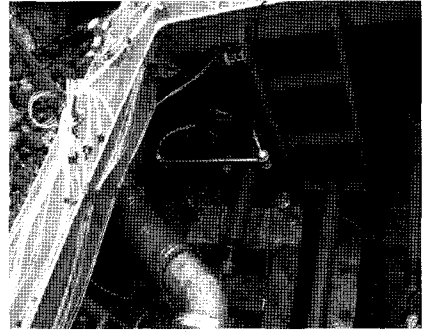


Fig. 10 Installation of various test devices

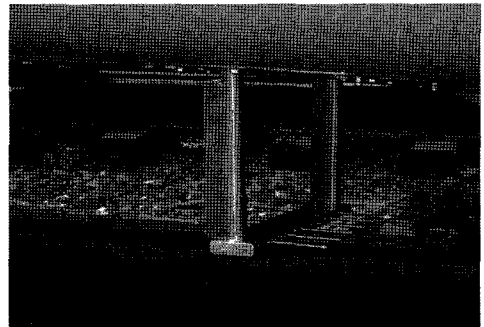


Fig. 11 1-hole Pitot tube rake for measurement of the boundary layer in front of the intake

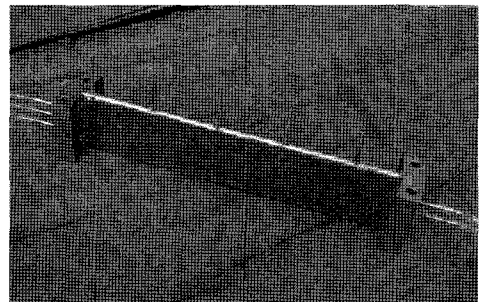


Fig. 12 Tubes for measurement of jet flow

시험선 건조중량은 설계시 추정된 중량 중심과 거의 유사하였으며, 고정 발라스트를 적재하여 중심이 설계된 위치에 둘 수 있었다. Fig. 7은 좌현과 우현에 설치된 Hydraulic power pack 이고, Fig. 8은 조향 노즐과 버킷 설치된 모습이다. Fig. 9은 조타실에서 선수방향으로 본 내부모습이다.

4. 시험선 성능시험장치 구성

21차 ITTC에서 추천한 방법으로 선체와 물분사 추진장치의 상호작용 특성을 고려하여 저항추진 성능을 해석할 수 있도록 시험선용 실험장치를 구성하고 시험선에 장착하였다. Fig. 10은 선미부 내부에 설치된 흡입구 주위의 유속 및 압력과 축회전수 계측장치를 보여주며, Fig. 11은 선저 외부의 모습을 보여준다. 여기에는 1-hole pitot tube 6개가 레이크에 일체형으로 부착되어 동시에 상하 방향으로 이동이 가능하다.

흡입구에서 흡입된 물이 펌프에 의하여 가속되어 노즐로 분사되는 유동의 축방향 속도분포를 계측하기 위하여 Fig.12에서 보는 바와 같이 튜브레이크를 노즐 하류에 장착하였다. 물분사 추진 선박의 성능추정을 위해 유량계측은 매우 중요하다. 선박이 항해 중에 유량계측은 스테이터 하류 노즐 수축부의 단면적이 다른 2개의 면에서 압력차이로 유량(Q Δ P)을 추정하게 되는데 유동의 불균일 등으로 인한 오차가 발생할 수 있다. 이를 검증하기 위하여 Fig. 13과 같이 정지상태에서 Bollard-pull 시험으로 계측한 추력을 유량(QF $_x$)으로 환산하여 이를 기준 유량으로 사용하였다.

실해역 운항 중에 전달마력을 정확히 측정하기 위하여 Fig. 14와 같이 추진축의 중간 부분에 토오크 메터를 부착하였다. 토오크 메터는 회전수 계측도 동시에 수행할 수 있는데, 축전달마력을 직접 구할 수 있어, ITTC '96 방법 등으로 추정된 값과의 비교 및 해석의 정도향상을 위하여 매우 중요한 장비라 할 수 있다.



Fig. 13 Bollard-Pull test

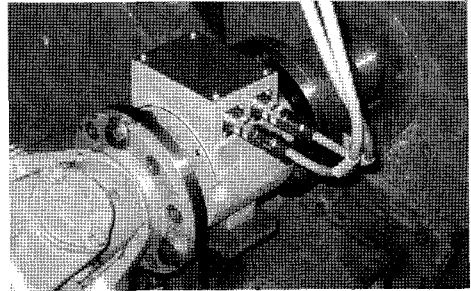


Fig. 14 Torque meter installed at the shaft

5. 실해역 성능시험 결과

Fig. 15는 시험선의 실해역 항주 모습을 보여준다. Fig. 16과 17은 각각 24.3노트 및 28.6노트 때의 분사류의 모습이다. 그림에서 보는 바와 같이 분사류의 퍼짐(spreading)현상이 거의 없음을 볼 수 있다. 이는 펌프에 의해서 가속된 유동이 회전방향 속도성분은 최소화되었고 가속된 운동에너지가 대부분의 축 방향의 운동에너지로 변환된 것을 의미한다. 이것은 물분사 추진장치의 펌프설계에서 매우 중요한 부분이며 시스템 추진효율에도 영향을 미친다.

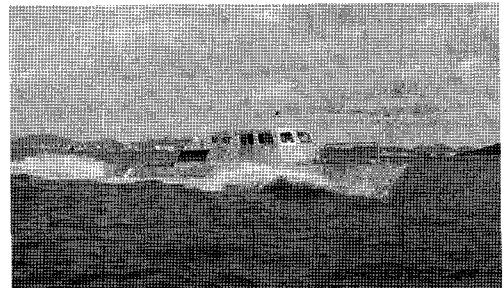


Fig. 15 Overview of test ship in run



Fig. 16 Jet at Vs=24.3knots

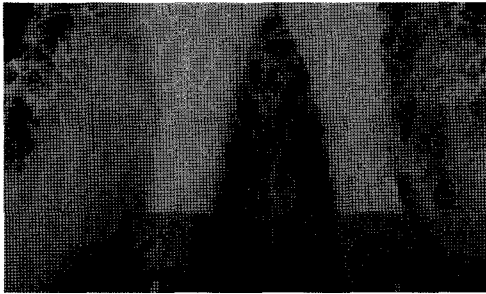


Fig. 17 Jet at Vs=28.6knots

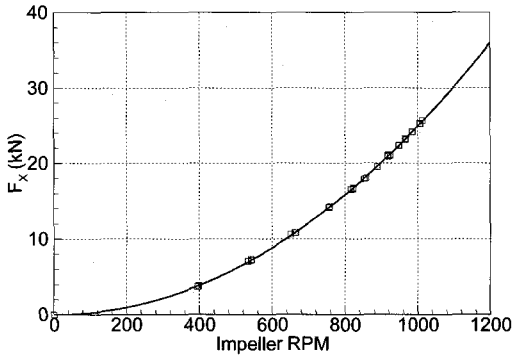


Fig. 18 Bollard pull force of the test-ship

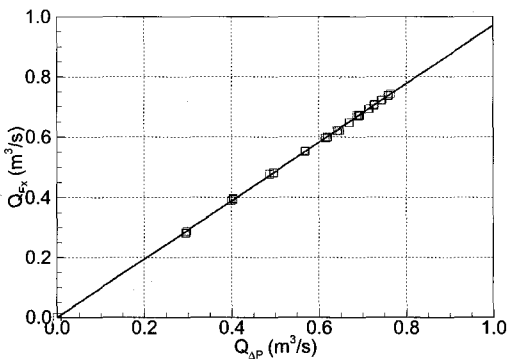


Fig.19 Flowrate relation between Q_{Fx} and $Q_{\Delta P}$

Fig. 18은 Bollard-Pull 상태에서 임펠러 회전수를 증가시키면서 로프 중심에 설치된 Tension meter에서 계측된 추력(F_x)을 보여주는데, 임펠러 회전수와 추력과의 관계가 잘 나타나 있다. 이때 계측된 추력은 노즐출구에서 분사되는 제트유동에 의하여 유발되는 것으로 입구속도가 없으므로 모멘텀 계산식으로부터 분사되는 유량을 계산할 수 있다. Fig. 19는 추력(F_x)으로부터 얻어진 유량

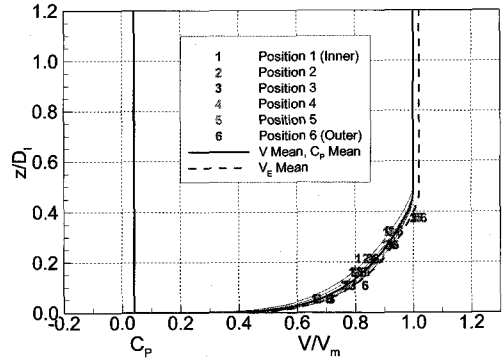


Fig. 20 Intake flow profile at V_{sT} =13.4kts

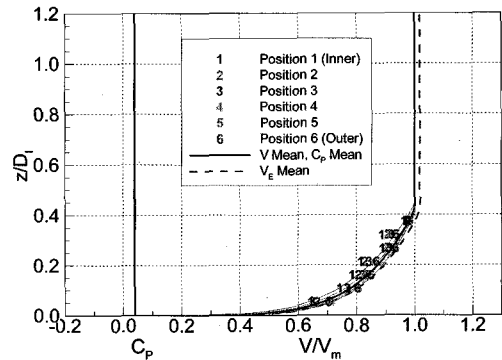


Fig. 21 Intake flow profile at V_{sT} =22.4kts

(Q_{Fx})과 펌프 스테이터 후류와 노즐 끝단 사이에서 계측된 압력차이로부터 얻어진 유량($Q_{\Delta P}$)과의 관계를 보여준다. 일반적으로 시험선이 달리고 있을 때 압력차에 의한 유량만이 계측되는데, Fig. 19에 나타난 관계를 이용하여 수정된다.

Fig. 20과 21는 각각 시험선 속도(V_{sT}) 13.4노트 및 22.4노트에서 시험선 흡입구에서 계측한 경계층 유동내 전진방향 속도 성분과 정압분포를 보여준다. 선속이 빠를수록 즉 레이놀즈수가 커질수록 경계층 두께가 얇아짐을 보인다. 이 자료는 흡입구에서의 모멘텀과 에너지 추정에 사용된다.

Fig. 22은 선속 변화에 따라 노즐면에서 계측한 축방향 속도의 반경방향 분포를 보여준다. 선속별 유속분포를 보면 저속구간에서 선속에 무차원된 유속이 높고, 선속이 올라갈수록 낮아지는 현상이 나타난다. 이는 Waterjet 추진장치의 일반적인 특성으로서(Allison 1993), 선속이 낮은 경우 상

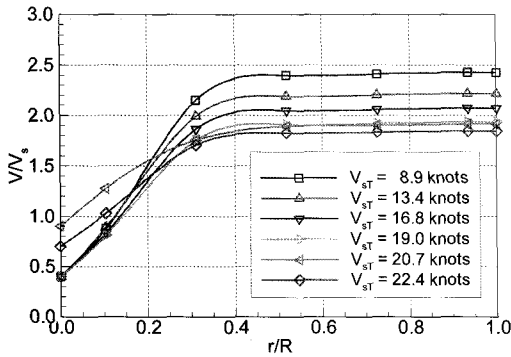


Fig. 22 Jet flow distribution at jet nozzle

대적인 유량이 증가하고, 선속이 높은 경우 상대적인 유량이 감소하는 현상을 잘 보여주고 있다. 노즐출구에서 계측된 유속과 압력은 모멘텀과 에너지의 추정에 사용된다.

흡입구와 노즐에서 모멘텀 차이로부터 자항상태 선체저항을 추정하고, 에너지 차이로는 제트시스템 유효마력(Effective jet system power)을 추정할 수 있다. 또한 제트시스템 유효마력, 유도관 손실계수, 노즐 손실계수(안종우 등 2004), 펌프효율(안종우 등 2005), 펌프설치 효율 및 노즐과 흡입구 높이차로 인한 수두를 고려하여 전달마력을 추정할 수 있다(ITTC 1996).

본 논문의 목표는 시험선을 설계·건조하고 그 성능을 검증하는 것이다. 따라서, 본 논문에서는 실제적인 계측결과 및 계측의 타당성을 언급할 것이며, 후에 계측된 결과를 기반으로 ITTC에서 제시한 해석결과의 타당성 검토, 모형선-시험선 상관관계 연구를 계속할 예정이다.

Fig. 23과 24는 Fig.14에 나타난 시험선 축계 중간에 장착된 토오크 메타에서 얻은 임펠러회전수 및 토오크 계측결과를 보여준다. 토오크를 직접적으로 계측함에 따라 스트레인 게이지와 무선 신호 통신을 이용한 기존의 계측방법(안종우 등 1998)보다 설치 및 계측의 정확도에서 매우 향상되었다고 사료된다.

Fig. 25는 임펠러 회전수와 토오크 계측결과를 가지고 구한 전달마력과 Data base 기반 초기성능해석 프로그램(김기섭 등 2003)으로 구한 전달마력의 비교를 보여준다. 추정 및 실험 결과가 매

우 일치되고 있음을 보여준다.

Fig. 26은 Fig. 25에 나타난 전달마력과 모형선 시험 결과로부터 추정된 시험선 유효마력을 가지고 계산된 추진효율이다. 추정과 실험결과의 차이는 전달마력에서 나타난 차이이다. DB기반 추정결과와 실험결과가 큰 차이가 나지 않는 것으로 미루어 보아 실험 결과의 타당성을 간접적으로 검증할 수 있다.

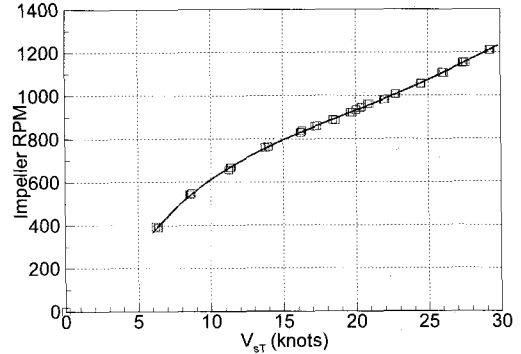


Fig. 23 Impeller RPM

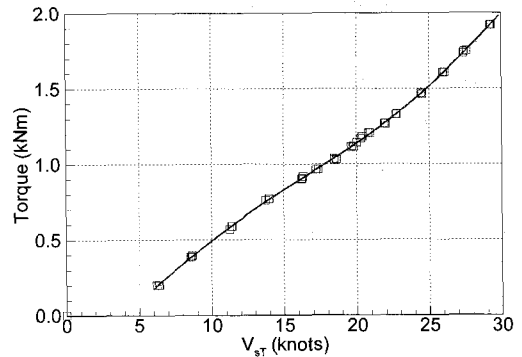


Fig. 24 Impeller Torque

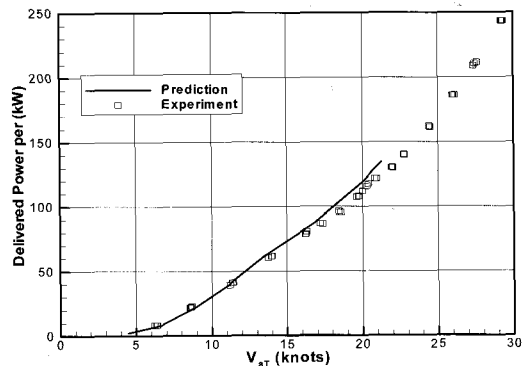


Fig. 25 Delivered Power of one waterjet

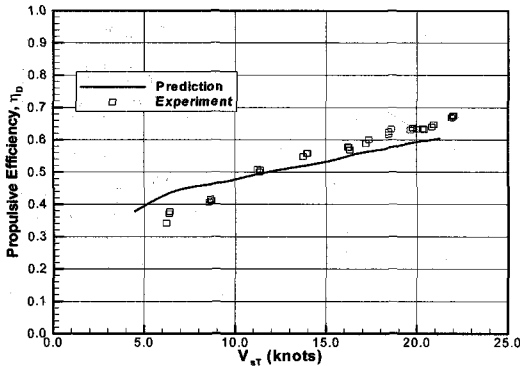


Fig. 26 Propulsive Efficiency

6. 결론

물 분사 추진장치를 장착한 시험선을 설계 건조, 실험역 시험설계, 시험장치 구성 및 실험역 성능 시험을 수행하였다. GPS 및 토오크메터를 장착하여 선속, 소요마력, 회전수 등을 직접적으로 계측하였으며, DB기반 초기성능 추정 결과와 비교하여 계측의 타당성도 확인할 수 있었다.

ITTC '96 물분사추진 해석방법으로 소요마력 추정을 위한 자료 확보를 위해 흡입구와 노즐에서 유동특성을 계측하였다. 이러한 자료는 토오크메터에 의한 직접적 계측자료와 함께 향후 물분사 추진장치 성능검증 및 성능 향상, 모형선 성능시험법 개발 등에 유용하게 활용될 것이다.

후 기

본 연구는 2005년도 과학기술부 민군경용기술 사업 연구과제 결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- 김기섭, 안종우 외 80인, 2003, 중소형 Waterjet 추진시스템 개발-Part I(함정용), 한국해양연구원 연구보고서, 보고서 번호 M1-0190-00-0019.

- 안종우, 김기섭, 박영하, 김경열, 2004, "Waterjet 추진장치의 흡입구유도관 단독성능 시험기법 개발," 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 6호, pp. 15-23.
- 안종우, 김기섭, 박영하, 김경열, 오형우, 2005, "Performance Analysis of a Mixed-Flow Pump for Waterjet Propulsion," SOTECH, Vol. 9, No. 2, pp. 11-20.
- 안종우, 이창용, 박영하, 정종안, 김병현, 1998, "실선 물분사 추진장치 성능시험 및 모형선-실선 상관관계," 대한조선학회 논문집, 제 35권, 제 4호, pp. 11-18.
- Allison, J., 1993, "Marine Waterjet Propulsion," SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 275-335.
- ITTC, 1996, ITTC Waterjet Group, "Final Report and Recommendation to the 21st ITTC," pp. 189-209.



< 김 기 섭 >



< 고 창 두 >



< 안 종 우 >



< 박 영 하 >



< 이 창 용 >