

아지무스 추진기 단독시험 시스템 개발 및 적용

이영진¹·유성선¹·서종수¹·류재문^{2,†}
삼성중공업(주) 조선해양연구소 대덕선박연구센터¹
충남대학교 선박해양공학과²

Development and Application of an Open Water Test System for Azimuth Thrusters

Young-Jin Lee¹·Seong-Sun Rhyu¹·Jong-Soo Seo¹·Jae-Moon Lew^{2,†}
Daedeok ship R&D center, Marine research Institute, Samsung Heavy Industries, Co. Ltd.¹
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chungnam National University²

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.

To research and develop an azimuth thruster, the new type of open water test dynamometers to measure thrust, torque, total thrust and duct force are designed and manufactured by Samsung Ship Model Basin(SSMB). A compact servomotor to be accurately controlled is connected to precise spiral bevel gear through shafting system combined by couplings and main shafts. The dynamometers have shown excellent linearity and repeatability for all components of forces and a torque. Also, the open water tests have been successfully performed to show the performance of the system. In near future, it is expected that the device can be used for the study of scale effects and development of azimuth thrusters.

Keywords : Azimuth thruster(선회식 추진기), Open water test dynamometer(단독성능 동력계), Spiral bevel gear(나선형 베벨기어)

1. 서론

화석 연료를 주 에너지원으로 사용하고 있는 오늘날의 산업 사회는 지구에 많은 발전과 새로운 문명을 선사했지만, 심각한 환경 오염과 이산화탄소 배출에 의한 지구 온난화 및 에너지 자원의 고갈이라는 다양한 문제점들을 낳게 되었다. 에너지 자원의 개발과 환경 오염 개선을 위해서 전 세계적인 협의와 제도화 노력이 활발히 진행되고 있으며, 조선 해양 분야에서도 국제해사기구(IMO) 등을 통해서 이산화탄소 발생을 억제할 수 있는 친환경 선박 운항 및 건조를 위한 시행 법률 및 규칙을 제정하기에 이르렀다. 이러한 국제적인 요구에 따라서 심 해저 에너지 자원 및 재생 에너지의 개발과 에너지 절감 장치 개발 등 새로운 선박 및 해양사업 발굴을 위한 활발한 움직임이 진행되면서 시추선, 셔틀 탱커, 자항형 LNG FPSO, LNG FSRU, 해상풍력 설치 선박, 해상 파이프 설치 선박 및 다목적 설치선 등, 위치제어 기능과 추진 기능을 동시에 수행할 수 있는 선회식 특수 추진 시스템을 장착한 선박의 수요가 급증하고 있다. Fig. 1 좌측의 선회식 추진기는 시추선을 포함한 각종 해양 작업용 선박들의 위치를 제어하기 위하여 주로 사용되는 베벨기어형 선회식 추진기로서 비교적 가격이 저렴하고 근래에 들어서 성능이 개선되어 주 추진기로도 사용 가능하여 다양한 선종에 확대 적용되고 있는 추세이다.

Fig. 1 우측에 표시한 선회식 추진기는 포드 추진기의 장점을 살려 덕트를 적용한 모터 내장형 선회식 추진기로서 최근에 개발되어 새로운 선박에 적용되고 있다. Fig. 2 는 덕트가 없는 선회식 추진기들로서 여객선 등의 고속 고 사양 선박의 추진기로 사용하는 모터 내장형 포드 추진기이며 저소음 저진동 추진기이다.

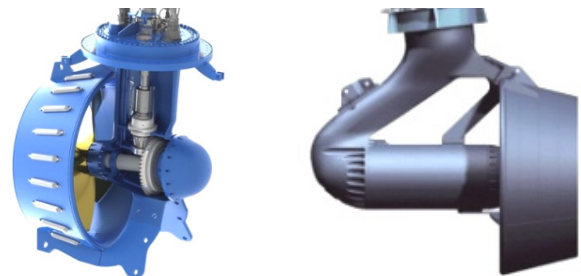


Fig. 1 Typical configuration of azimuth thrusters (bevel gear type-left, motor inside type-right)

이러한 선회식 추진기는 세계적으로 소수의 업체에서 개발, 독점 제작되어 왔으며 선박 제조 업체들은 단순히 완제품을 구매하여 선박에 설치해오고 있다. 그러므로 선회식 추진기에 대한 연구 실적이나 특성에 대한 정보를 거의 보유하지 못하고 있어 신

선박 개발에 대한 기술적인 어려움이 발생하고, 경제적인 측면에서도 불리한 입장에 처해 있다.



Fig. 2 Typical configuration of AZIPOD thrusters

새로운 선회식 추진기 개발을 위하여 기본적으로 필요한 사안은 선회식 추진 선박에 대한 속도-마력 성능을 평가할 수 있는 모형선박의 저항추진 시험을 수행하는 것이다. 이러한 실험적 연구를 위해서는 선회식 추진기의 성능을 평가할 수 있는 새로운 선회식 추진기 단독시험 동력계와 자항 동력계를 갖추는 것이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 선회식 추진기 및 선박 개발을 목적으로 추진 성능을 정확하게 평가할 수 있는 저항추진 시험을 수행할 수 있도록 Fig. 1과 같이 두 가지 종류의 선회식 추진기 단독시험용 동력계를 자체적으로 설계하고 제작하였다. 베벨기어 구동형 시험장비는 선회식 추진 시스템의 성능 분석을 위하여 추진기 구성 요소의 작용력에 대한 세부적인 분석이 가능하도록 프로펠러 토크, 프로펠러 추력, 덕트 추력 그리고 전체 추력을 계측할 수 있도록 센서를 제작 사용 하였으며 모터에서 발생할 수 있는 진동과 전기 노이즈를 최소화할 수 있는 서보방식의 구동 모터와 베벨기어를 포함하는 복합 축계 시스템으로 구성하였다. 모터 내장형 선회식 추진기는 추진축에 모터가 위치하기 때문에 프로펠러의 추력과 토크를 동시에 정밀하게 계측하기 위한 센서를 배치하기에는 공간적 제약을 받게 된다. 따라서 모터 내장형 선회식 추진기는 전체 추력과 프로펠러 토크만 계측할 수 있도록 구성하였다.

또한, 모터제어 및 데이터 계측 프로그램도 함께 개발하여 정적 교정과 동적 성능시험 및 추진기 단독시험을 통하여 설계 제작된 새로운 선회식 추진기 단독시험장치의 성능과 활용도를 종합적으로 검증하고자 하였다.

2. 시험시스템 설계 및 제작

2.1 베벨 기어 구동형 선회식 추진기

베벨기어 구동형 선회식 추진기는 상부에 프로펠러 구동용 모터가 설치되고 축계는 수직으로 모터와 연결되며, 하단부에 베벨기어를 장착하여 모터의 동력을 수직으로 추진축에 전달하는 추진 시스템이다. 수직 축이 360도 회전 가능하므로 추력의 방향을 자유롭게 변화시킬 수 있어서 시추선, 파이프 설치선, 풍력 설치

선 및 자항형 FPSO 등 위치 제어가 필요한 선박의 주 추진 장치로 활용된다. 모형 시험용으로 사용하는 선회식 추진기 단독시험 장치도 실제 선박에 설치되는 제품과 기하학적으로 상사한 형상을 가져야 하기 때문에 Fig. 3과 같이 실선과 동일한 형태의 시험용 동력계를 구상하였다.

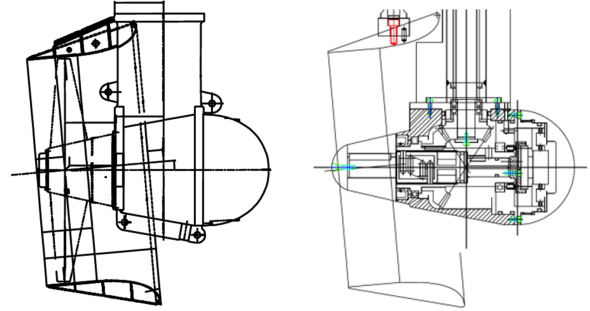


Fig. 3 Assembling drawings of full and model scale azimuth thrusters of bevel gear type (full-left, model-right)

모형시험용 동력계는 형상과 기능이 기하학적으로 상사하면서 정밀하게 구동되고 추진 성능 추정을 위한 각각의 요소들을 정확하게 계측할 수 있도록 시스템을 설계하고자 하였으며, Fig. 4에 실선과 동일하게 설계된 베벨기어 구동형 선회식 단독시험 장치의 전체 형상을 도시하였다.

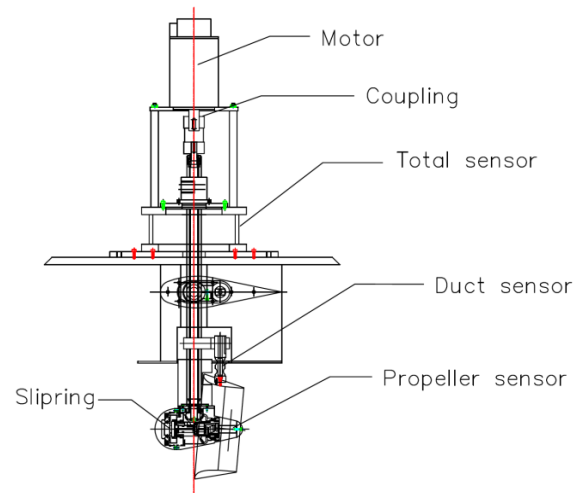


Fig. 4 Full arrangement of the azimuth thruster dynamometer of bevel gear type

전체적인 구조는 최상부에 구동용 모터, 플랜지를 거쳐 하부로 동력을 전달하는 수직 축계, 그리고 추진기의 수평 축계로 소음과 진동을 최소화하면서 동력을 전달할 수 있는 스파이럴 베벨 기어로 구성하였다. 프로펠러 구동 수평 축계 양쪽 끝단에 지지용 베어링을 설치하고 동력계에 추진기를 설치하는 축계의 일정 부분을 토크와 추력 검출용 수밀형 2분력 검력계로 구성 하였다.

추진기 센서는 고속 회전을 하기 때문에 신호 및 전원을 전달 하기 위해서는 슬립링을 사용하도록 하였다. Fig. 3에 도시한 모 형시험용 동력계 설계도와 같이 우측의 프로펠러 축 끝단부 기어 박스 내부에 밀폐 형 이며 고속 회전이 가능한 백금 소재로 제작 된 슬립링을 설치하였다. 또한, 본 시험장치는 다양한 크기의 선 회식 추진기 모형시험이 가능하도록 외형을 최소화 하는데 역점 을 두어 설계하였다. 기어박스에 설치된 덮개와 동력 전달용 축 계에 설치된 스트럿의 외형을 선회식 추진기의 외형과 기하학적 으로 유사한 형상으로 분할 제작하여 조립함으로써 향후 프로펠 러의 직경을 변경하거나 포드 추진기 모형시험 등 다양한 형태로 적용하여 선회식 추진기의 단독성능 시험을 수행할 수 있도록 구 성하였다.

2.2 모터 내장 포드형 선회식 추진기

제조업체에 따르면 모터가 내장된 포드형 선회식 추진기는 베 어링 및 베벨 기어를 제거함으로써 기계 진동 및 마찰 손실을 최 소화하는 등 비용 감소 및 기계 효율 증대를 목적으로 개발되고 있는 추진 시스템이다. 하지만 시험장비에서는 실선과 동일한 형 상을 유지하면서 모터를 내장해야 하기 때문에 소형모터 선정 등 크기 제약에 직면하게 된다. 기존 대부분의 선회식 추진기 시험 장비는 베벨 기어를 사용하기 때문에 모터의 용량선정과 센서의 배치를 비교적 자유롭게 할 수 있었지만 Fig. 5를 통하여 알 수 있는 바와 같이 본 시험 장비는 모터를 직접 내장해야 하기 때문 에 공간적인 제약과 모터의 용량에 대한 정밀한 분석이 설계 과 정의 가장 중요한 설계 인자가 된다. 단독성능 시험에 대한 정도 를 높이기 위하여 가능한 큰 모형에 대한 시험이 가능하도록 하 고자 모터의 정격 토크, 회전수 및 감속기의 적용 가능 유무 등 구동시스템에 대한 다각적인 검토를 수행하였다.

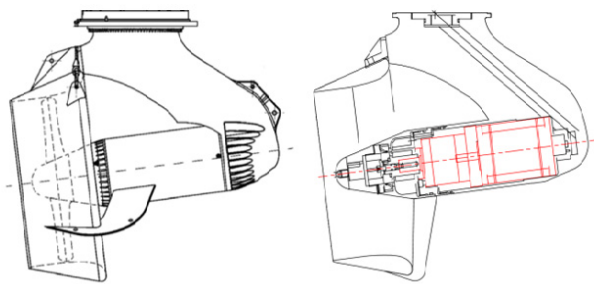


Fig. 5 Assembling drawings of full and model scale azimuth thrusters of motor inside type (full-left, model-right)

또한 추진기 구동용 모터가 센서와 직결되어야 하기 때문에 서 보 모터의 노이즈 영향을 최소화 하는 노력이 필요하여 AC 서보 모터 보다 비교적 고주파 노이즈 발생이 작은 DC모터를 선택 적 용 하였다.

2.3 힘 검출용 검력계 설계 제작

Fig. 6에 표시한 바와 같이 베벨 기어 구동형 선회식 추진기

시험 장치는 최대 직경 250mm의 선회식 추진기에 대한 단독 시 험 수행이 가능하도록 토크 및 추력 센서의 용량을 선정 하였 다. 그리고 덕트에 작용하는 힘을 계측할 수 있는 덕트 센서를 별 도로 설치하여 선회식 추진기에 작용하는 전체 추력에 해당하는 추력 성분을 각각 분리하여 계측 할 수 있도록 함으로서, 새로운 선회식 추진기를 개발하는데 유용한 정보를 확보하고자 하였다.

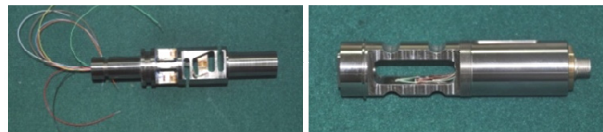
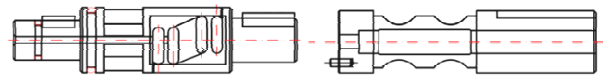


Fig. 6 Shapes of force sensors measuring thrust-torque of a propeller and thrust of duct for a bevel gear type azimuth thruster

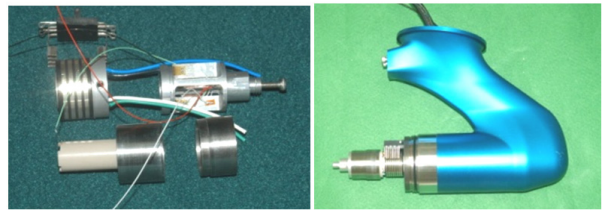


Fig. 7 Shapes of sensing assembly measuring torque of a propeller for a motor inside type azimuth thruster

또한 정밀한 측정을 위하여 접촉 간섭이 발생하지 않도록 추진 기 센서와 덕트 센서는 수밀용으로 제작하여 별도의 방수 처리를 하지 않더라도 안정된 계측신호를 얻을 수 있도록 조치하였다.



Fig. 8 Multi-component force sensor for measuring total thrust and other components

모터 내장형 시험 장치는 앞에서 언급한 바와 같이 전 추력과 토크만 계측을 할 수 있도록 Fig. 7과 같이 설계 제작 하였으며

베벨 기어 구동형과 같이 토오크 계측용 센서는 수밀형으로 제작하여 적용하였다. 새롭게 개발한 두가지 형태의 선회식 추진기에 공통적으로 사용하는 전체 추력 계측용 센서는 설치 상태 확인 및 다양한 시험을 할 수 있도록 하기 위하여 2분력 계측이 가능하도록 Fig. 8과 같이 제작 하였다. 이 센서는 모형시험에 사용되는 선회식 추진기 모형의 형상과 크기에 따라 달라질 수 있는 힘의 작용점 변화에 의해서 야기될 수 있는 계측값 변화를 방지하고 간섭을 최소화할 수 있도록 다수의 스트레인 게이지를 2분력계의 감지부 최적 변형 위치에 부착하여 검력부를 구성하였다.

시험 준비 과정에서 검력계의 손상을 방지하기 위하여 안전을 고려한 검력계 설계 용량은 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1 Summary of rated capacity of sensors

| Type | Sensor | Rated capacity | Unit |
|-------------------|--------------|----------------|------|
| Bevel gear type | Total Th | 1,000 | N |
| | Propeller Th | 500 | N |
| | Propeller Tq | 20 | N-m |
| | Duct Th | 500 | N |
| Motor inside type | Propeller Tq | 10 | N-m |

2.4 재료의 선정 및 가공

선회식 추진기는 아지포드 추진기에 비하여 크기가 작기 때문에 배럴부분을 포함한 전체의 외형까지 가공하여 조립해야 하므로 정밀 가공이 필수적이다. 모든 구성요소는 정밀 가공이 보장되는 금속 재질을 사용하여 제작하도록 구상하였다.

베벨 기어 구동형 선회식 추진기 시험시스템의 외형 부분은 베벨 기어에서 발생할 수 있는 기계 소음 및 진동에 내구성이 강한 황동 (Kang, 1995) 재료를 선정하여 정밀 자동 밀링 가공기로 제작하였고, 베벨 기어가 사용되지 않는 모터 내장형 선회식 추진기 시험시스템은 가공이 용이한 알루미늄 합금 재료를 사용하여 제작하고 모터가 부착되는 부분에는 전기 노이즈 방지를 위하여 절연성 물질로 제작하였다. 외형 전체를 절연성 물질로 제작하게 되면 전기 노이즈 방지 효과는 탁월하지만, 밀폐된 공간에서 모터의 발열로 인한 파손이 우려되므로, 외형은 열 전도율이 비교적 높은 금속을 사용하여 물속에서 자연 냉각이 될 수 있도록 하였다. 실선과 기하학적인 상사 모형을 제작하기 위하여 외형은 5축 자동 밀링 머신으로 가공하였으며, 협소한 공간의 깊은 위치의 가공 부품은 방전 가공을 실시하였다. 특히, 가공 시 변형 발생이 우려되는 감지부는 밀링 가공기와 와이어 가공 공법을 적절히 배분, 가공함으로써 검력계가 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 하였다.

2.5 모터 제어 및 데이터 계측 시스템

실험 목적에 부합되는 적절한 성능과 형상을 지닌 프로펠러 구동용 모터를 선택하는 것은 정확한 실험모드 구현을 위하여 중요한 사안이다. 베벨 기어형 선회식 추진기 동력계는 회전력을 전달하는 모터의 위치나 크기의 제약을 받지 않기 때문에 소형이면서 비교적 큰 출력을 낼 수 있는 정격출력 4.0KW, 최대 회전속도 3,000RPM의 속도 제어형 서보모터를 감속기 없이 직결하여 사용하였다. 모터 내장형 선회식 추진기 동력계용 모터는 소형이면서 노이즈 성능이 우수한 DC 모터를 대상으로 조사한 결과, 정격 토오크 1.49 N-m, 회전속도 5,000 RPM의 BLDC 서보 모터를 선택 하였고, 토오크 증대를 위한 감속비 5:1의 고정밀 감속기를 부착하여 사용하였다. 이 모터 시스템을 적용하면 직경 220mm의 모형프로펠러를 사용하여 최대 1,000 RPM의 시험까지 가능하기 때문에, ITTC 에서 권장하는 프로펠러의 단독시험 레이놀스수 (Re) 3×10^5 (15th ITTC, 1978) 이상 에서 수행할 수 있다. 모터 내장형은 센서와 모터가 직접 연결되므로 전기 노이즈 발생 가능성이 높게 되기 때문에, 전기 노이즈 차단 성능이 우수한 리니어 제어형 서보 드라이버를 사용하였다. 모터의 회전 속도를 제어하는 상위 제어기는 PID 제어를 내장한 제어 보드를 사용하여 폐회로 서보 정밀 속도 제어가 가능하도록 구성하였다.

본 시험 시스템에서 각종 힘을 계측하는 힘 계측용 센서는 스트레인 게이지를 활용한 수동 소자이므로 외부에서 전원을 공급하는 장치와 미세한 출력 신호를 증폭하는 기능을 가진 고정밀 증폭기가 필요하다. 신호 왜곡을 최소화 하면서 큰 증폭이 가능한 DC스트레인 증폭기를 적용하였다. 증폭된 아날로그 신호는 최대 분해능이 16비트인 고기능, 고분해능 아날로그-디지털 신호 변환기를 적용하여 고정밀 디지털 데이터를 계측할 수 있도록 하였다. 제어 및 계측용 보드 제작사에서 제공하는 라이브러리와 Visual C++ 언어를 활용하여 모터 속도를 제어하고 데이터를 저장할 수 있도록 제어계측 구동 프로그램을 구현하였으며, 하나의 프로그램으로 제어와 계측을 동시에 수행할 수 있도록 함으로써 제어와 계측 간의 시간 지연에 의한 에러를 방지할 수 있도록 하고 사용자 편의를 높일 수 있도록 GUI를 구성하였다.

2.6 시험시스템 제작 및 조립

Fig.9의 완성된 동력계에 나타난 바와 같이 베벨기어 구동형 단독 성능 시험장치는 실선과 동일한 외형을 유지하고 있음을 알 수 있다. 또한, 그 구성도 베벨기어, 프로펠러 축계, 그리고 상부에는 프로펠러 동력용 서보 모터와 커플링으로 연결하였다.

회전 운동을 하는 장치에서는 구동 시 진동과 소음이 발생하게 되는데 이는 기어를 포함한 축계 장치의 마찰과 회전 축계를 연결하는 커플링과 축계의 정렬이 정확하지 않은 것이 주요 원인이다. 본 시스템에서는 이러한 문제를 최소화하기 위하여 접촉면이 넓어 전달력이 크고 정속성이 우수한 스파이럴 베벨 기어를 정밀 연삭하여 사용하였다.

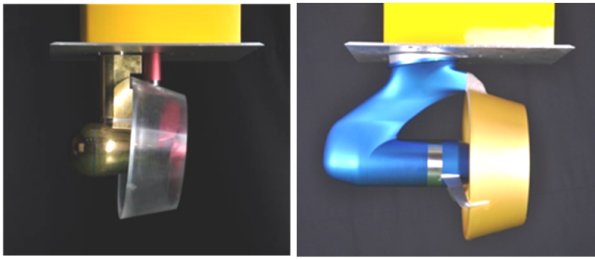


Fig. 9 Final configuration of two types of dynamometers

또한, 동력 전달용 커플링이 회전 구동시 진동 발생 및 전체 추력 계측센서의 계측신호를 왜곡시키는 것을 확인하고, 초기 설계 시 선택 하였던 일반 커플링에서 벨로우즈 커플링으로 교체 부착함으로써 문제점을 해결할 수 있었다. Fig. 9 우측에 도시된 완성된 모터 내장형 선회식 추진기 동력계는 설치 공간의 협소함과 모터의 수밀, 냉각, 노이즈 방지가 해결해야 할 필수 요소이다. 정밀한 가공과 강도가 요구되는 부분은 SUS재질을 사용하여 제작하였으며 모터에 의한 전기 노이즈가 전달되지 않도록 ABS 수지 재료를 축계에 삽입하였다. 프로펠러 토크 센서의 회전을 전달하는 베어링도 일반적인 금속 볼 베어링을 사용하지 않고 동전이 되지 않는 고속 회전용 세라믹 재질의 볼 베어링을 사용하였다.

3. 시험장비 성능 검증

3.1 검력계 교정

동력계의 성능을 평가하기 위해서 일반적으로 정적 교정과 동적 성능을 검증하게 된다. 정적 교정은 정지된 상태에서 초정밀 분동과 모멘트 암을 적절히 활용하여 힘과 모멘트를 부여하고, 이때 발생하는 센서의 전기적 신호와의 연관성을 확보하는 것이다. 검력계 설계 시 부하와 전기적 신호가 직진성과 반복성이 우수하도록 설계하여 물리적 힘과 모멘트를 간단한 직진식으로 치환하는 것이 중요하다. Fig. 10 에 토크 센서 및 전체 추력과 프로펠러 추력 센서의 교정 모습을 보여주고 있다.

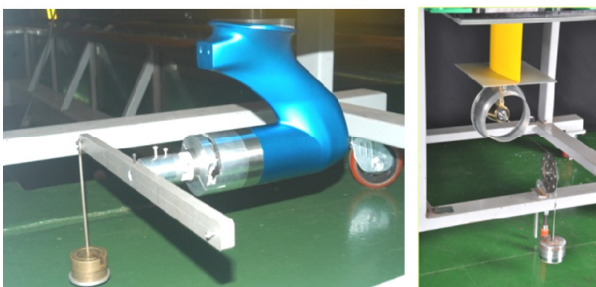


Fig. 10 Installation of static calibration devices

1차적으로 각 센서 자체 교정을 실시하여 성능의 이상 여부를

검증한 후, 단독성능 시험 장비 전체를 조립하여 현장에 설치한 상태에서 정밀 반복 교정을 실시하였다.

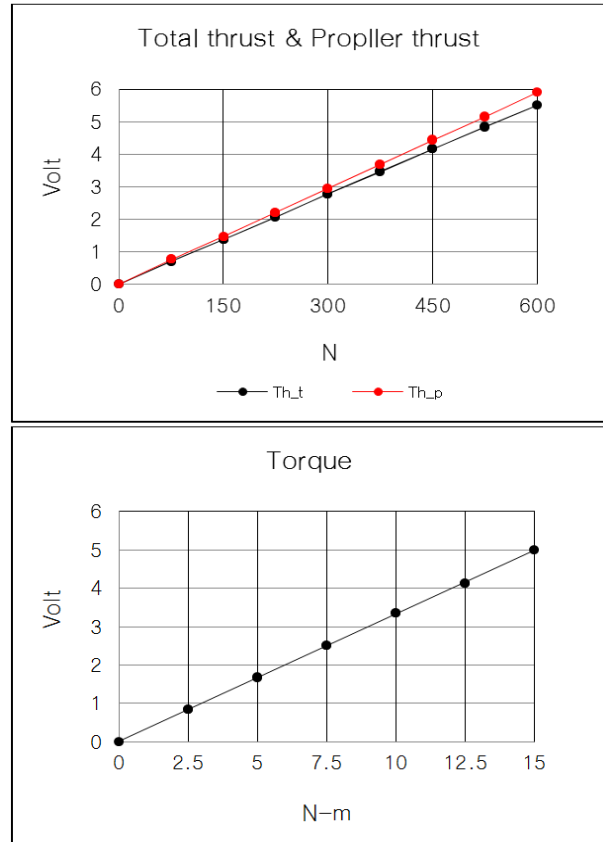


Fig. 11 Results of static calibration of the bevel gear type azimuth thruster

Table 2 Results of static calibration of the bevel gear type azimuth thruster

| Item | Total thrust | Propeller thrust | Propeller torque | Duct thrust |
|---------------|--------------|------------------|------------------|-------------|
| Linearity(%) | 0.075 | 0.039 | 0.025 | 0.021 |
| Hysteresis(%) | 0.067 | 0.064 | 0.046 | 0.018 |

베벨기어형 동력계에 대한 프로펠러 추력과 토크 및 전체 추력에 대한 교정 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 매우 우수한 선형성을 확인 하였다. 시스템의 상부에 위치하여 선회식 추진기 전체에 작용하는 전체 추력센서에 대해서는 힘의 작용점을 변화시켜서 (Hoffmann, 1989) 거리에 따른 영향을 확인 하였는데, 설계 및 제작 시 고려한 바와 같이 거리 변화와 무관하게 동일한 값을 나타내고 있음을 확인 하였다. Table 2의 교정 결과에 나타난 바와 같이 모든 센서의 직진성 및 히스테리시스 성능은 0.1% 이내로 매우 높은 정확도를 보이고 있음을 검증하였다.

모터 내장형 선회식 동력계에서 전체 추력 센서는 공동으로 사용하므로 축계에 설치된 프로펠러 토크 검력계만 단독으로 교

정을 하였으며 교정결과 최대 비선형성 오차는 0.046%, 이력 오차는 0.07%로서 매우 우수한 정확도를 확인 하였다.

3.2 무부하 회전 성능

개발한 동력계를 시험에 활용하기 전에 회전 시 진동 및 소음, 센서의 전기 노이즈 특성을 면밀히 파악하는 것이 매우 중요하다. 베벨 기어형 동력계에 프로펠러 더미허브 만 장착한 무부하 상태에서 6 RPS로 회전시키면서 필터를 사용하지 않고 측정한 결과를 Fig. 12에 그래프로 나타내었다.

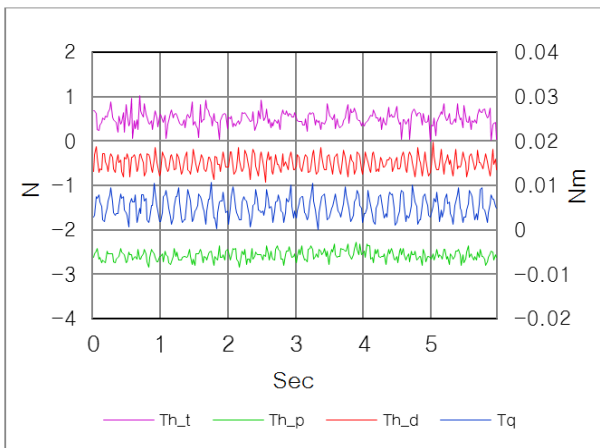


Fig. 12 Signal histories of the sensors rotating 6 rps in free load condition

프로펠러 추력, 프로펠러 토크, 전체 추력, 덕트 추력의 4 가지 신호에서 고주파 신호가 발생되고 있는데, 추력 성분들은 최대 진폭 0.5N 이내, 토크는 0.002 Nm 이내로 안정되게 수렴하고 있다. 신호 자체에 전기 노이즈 성분도 거의 존재하지 않으며, 변동 폭도 상당히 작아 회전 시의 성능이 우수함을 알 수 있다. 이와 같이 검력계의 정적 교정 및 시스템의 무부하 회전 성능 시험을 통하여 센서의 성능이 우수하고 회전 시에도 제어 및 계측에 문제가 없음을 확인하였다.

3.3 Bollard pull 성능 시험

프로펠러를 설치하고 정지한 상태에서 동력계에 작용하는 각종 부하를 계측하는 bollard pull 시험을 2회 반복하여 수행하였다. Fig. 13과 같이 정밀하게 가공된 지지대 설치판 위에 단독 시험장비를 안착하고 수면에 의한 교란을 방지하기 위한 유동 가이드 판을 프로펠러 중심으로부터 450mm 상부 수면 위치에 부착하였으며, 수면 하부에도 스트럿과 수직인 별도의 가이드 판을 설치하여 프로펠러로 유입되는 유동의 흐름이 교란되지 않도록 고려하였다 (Lee & Rhyu, 2010).

Fig. 14와 Fig. 15는 정지 상태에서 모터를 16 RPS까지 회전시키면서 2회 반복하여 덕트추력, 프로펠러 추력, 토크, 전체 추력의 4가지 성분을 계측한 결과를 도시한 것으로서, 회전 속도

별 각 성분들은 일반적으로 보이는 경향을 잘 보여주고 있으며, 반복시험 결과 반복 성능이 우수함을 알 수 있다.

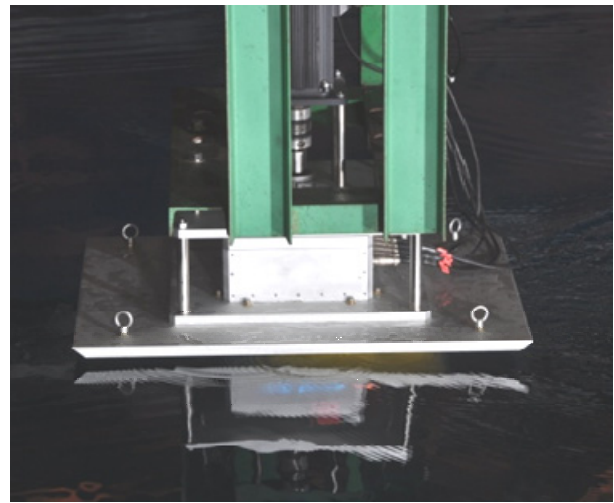


Fig. 13 Installation of the azimuth thruster dynamometer for POW test

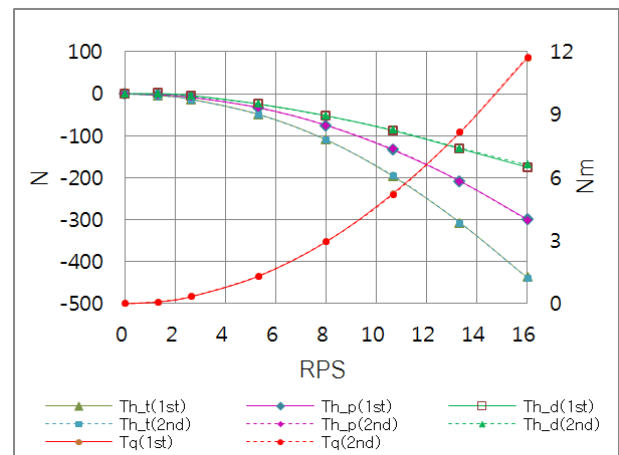


Fig. 14 Test results of the bevel gear type azimuth thruster in bollard pull

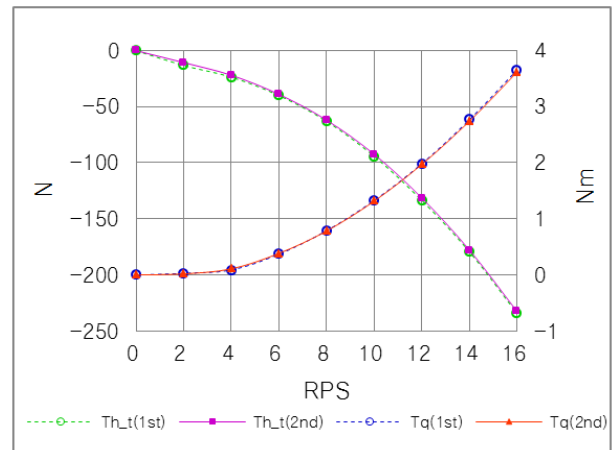


Fig. 15 Test results of the motor inside type azimuth thruster in bollard pull

4. 단독성능 시험

개발한 2가지 선회식 동력계들을 사용하여 주요 시험인 단독 성능 시험을 2회 반복 수행함으로써 동력계의 성능을 최종 확인하고자 하였다. 베벨 기어 구동형 선회식 추진기는 프로펠러 회전속도 13 RPS로 모형시험을 수행하였으며, 이 때 전진 계수 $J = 0.5$ 에서 레이놀드 수 Re 는 6.77×10^5 이다. 덕트 추력은 전진계수 J 가 0.6까지 추력을 내고 전체 추력은 전진계수 0.4 부근에서 추진기 만에 의한 추력보다 작은 값을 보이고 있는데 이는 스트러트의 저항 영향으로 판단된다. 이러한 경향은 다른 연구 (Carlton, 1993)에도 유사하게 나타나고 있다.

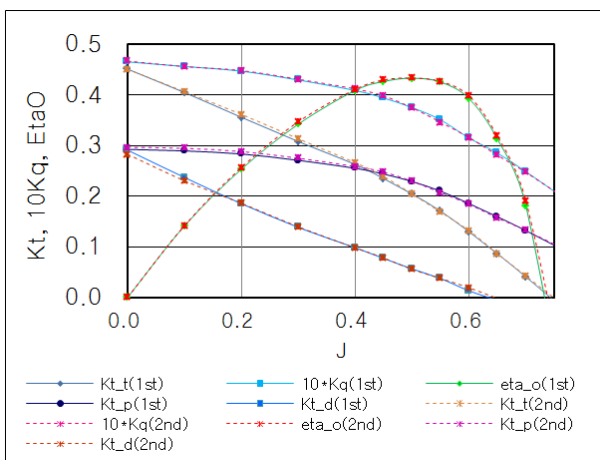


Fig. 16 Test results of the bevel gear type azimuth thruster in open water

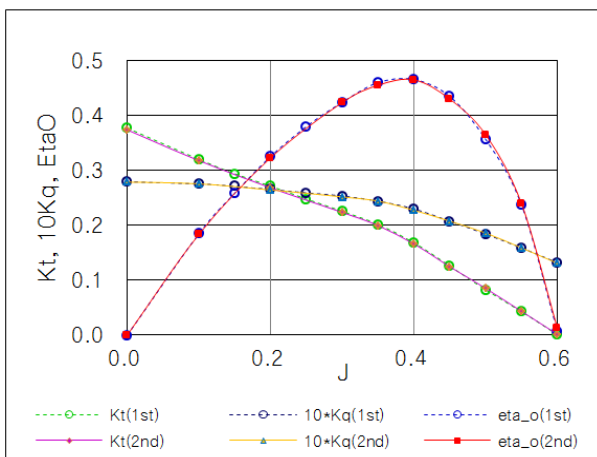


Fig. 17 Test results of the motor inside type azimuth thruster in open water

모터가 내장되어 있는 선회식 추진기의 단독성능 시험은 프로펠러 회전속도 17 RPS에서 수행하였으며, 이 때 전진 계수 $J = 0.5$ 에서 레이놀드 수 Re 는 6.86×10^5 이다. 2회 반복 시험한 결과를 Fig. 17 에 도시하였다.

Fig. 16과 Fig. 17의 시험 결과에서 알 수 있듯이 bollard pull 시험 결과와 유사하게 실험에 대한 반복성 및 안정성이 우수함을 알 수 있다.

5. 결론

선회식 추진기를 장착하는 선박이 다양해지면서 선회식 추진기 장착 선박에 대한 시험을 통한 정도 높은 속도-미력 성능 평가법이 중요한 연구 주제가 되었다. 이를 위해서 가장 기본적인 실험 장치인 선회식 추진기 단독성능 시험 시스템을 자체 설계 제작하였다. 선회식 추진기에 대한 특성을 다양하고 정확하게 계측할 수 있도록 덕트 추력, 프로펠러 추력, 프로펠러 토오크를 각각 분리하여 계측할 수 있도록 시스템을 구성하여 설계 제작하였다. 정적 교정, 무부하 회전 성능 시험, bollard pull 시험 및 추진기 단독시험 수행을 통하여 개발된 시스템의 반복성이 뛰어나고 정확도 또한 매우 우수함을 입증할 수 있었다. 향후, 개발한 본 시스템을 활용하여 선회식 추진기의 모형 축척비가 실험 결과에 미치는 영향 과 고효율 선회식 추진기 및 장치 개발 등에 대한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

References

Carlton, J.S., 1993. *Marine Propellers and Propulsion*, Butterworth-Heinemann.
 Hoffmann, K., 1989. *An Introduction to Measurements Using Strain Gages*, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
 ITTC, 1978. *15th ITTC Conference, Report of Propeller Committee*. The Hague Netherlands. p. 276.
 Kang, D.I. et al., 1995. *Force Measurement Technique*, KRIS-95-121-ET.
 Lee, Y.J. & Rhyu, S.S., 2010. *Development of an Azimuth Thruster Dynamometer for Self Propulsion Test in Towing Tank*, SHI Technical Report.

