

새로운 축기진력 계측시스템 및 모형 실험법 개발

이영진¹·유성선^{1,†}·이경준¹·서종수¹·류재문²
삼성중공업(주) 조선해양연구소 대덕선박연구센터¹
충남대학교 선박해양공학과²

Development of New Experimental Devices and Methods to Measure Shaft Forces of Ships

Young-Jin Lee¹·Seong-Sun Rhyu^{1,†}·Kyung-Jun Lee¹·Jong-Soo Seo¹·Jae-Moon Lew²
Daedeok ship R&D center, Marine research Institute, Samsung Heavy Industries, Co. Ltd.¹
Dept. of naval architecture and 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.

New experimental devices and methods to measure shaft forces of ships are proposed in this paper. The strain gauge type six-component load cell was newly designed and installed to the end of the propeller shaft. The signals generated from the sensor in the propeller rotating are transferred to the new data amplifying and processing board on the shaft and the data is transmitted to the self-made wireless receiver. To find out the characteristics of shaft forces during port and starboard turning motions in sea trial, oblique and combined yaw maneuvering tests at straight, transient, maximum yaw rate, steady conditions were performed with the model ship installed the shaft forces measuring device using circular motion tester of Samsung Ship Model Basin. Characteristics of the measured shaft forces in model tests show quantitatively good agreement with the computed values obtained by the CFD programs using the measured wake data in oblique towing conditions. In the near future, It is hoped that the estimated shaft forces for a ship from this experimental method could be validated through comparison with directly measured values of a ship.

Keywords : Shaft forces(축 기진력), Strain gauge type six-component load cell(스트레인 게이지 6분력계), Wireless receiver(무선 수신기), Circular motion tester(선회조종 시험장치)

1. 서론

선박의 대형화, 고속화 추세에 따라서 초대형 엔진의 개발 및 적용이 진행되면서 추진기의 부하도 크게 증가하게 되었고, 이는 추진기 및 타의 공동 현상, 변동압력의 증가, 축기진력 증가 등 추진기 및 축계에 많은 문제들이 발생하게 되었다. 이 중에서 축기진력의 증가는 베어링에 직접적인 손상을 입힐 수 있으며, 베어링 파손 및 항해 불가 사태를 초래할 수 있는 등 선박 안전 운항에 큰 지장을 줄 수가 있다. 각 조선 관련 기관 (Jion, et al., 2005; Jun & Hwang, 2008)에서는 이러한 축 기진력에 의한 베어링 및 축계 손상에 대한 구체적인 원인과 문제 해결을 위해서 많은 노력을 수행하고 있다. 현재 축기진력을 추정하는 주된 방법은 추진기에 유입되는 3차원 유동 정보를 확보하고 이를 입력 자료로 활용하여 수치 해석을 수행하여 추진기 각 날개에 작용하는 힘과 모멘트를 예측하는 것이다. 하지만, 이러한 수치해석 추정법은 입력자료, 수치해석코드에 따라서 서로 다른 결과를 보이고 있으며, 일반적으로 사용할 수 있는 신뢰성이 확보된 해석법도 존재하지 않아서 각

기관마다 보유하고 있는 수치해석 코드에 대한 특성과 정도를 면밀히 조사하고 연구해야 할 필요성이 있다.

수치해석을 통하여 해석된 결과에 대한 신뢰성을 검증 위해서는 실험적인 연구를 활용하는 것이 일반적이다. 축기진력 모형 실험은 MARIN(네델란드) (Van, 1980), HSVA(독일), MHI(일본) (Hoshino, et al., 1978) 등 해외 수조에서 수행된 전례가 있다. 이러한 실험들은 축기진력 특성을 규명하는데 많은 기여를 하였지만, 직진 상태에서 공동수조에서 실험한 경우가 대부분으로, 축베어링 파손 가능성이 높은 선회 운동 시 축기진력 특성을 파악할 수 있는 자료로 활용하기에는 한계가 있다. 또한, 추진기에 작용하는 부하도 최근 개발되고 있는 선박에 비하여 낮은 수준으로서 고부하 조건에서 작용하는 추진기에 대한 축기진력 특성을 규명하는데 활용 가치가 미흡하다. 이러한 분석을 바탕으로 SSMB (Samsung Ship Model Basin)에서는 선회 조건까지 포함한 축기진력 특성을 파악하고 문제점을 해결할 수 있는 예인수조 축기진력 성능실험법을 개발하는 실험 연구를 계획하였다 (Rhyu & Lee, 2009). 실험을 수행하기 위해서는 먼저 실험용 계측 제어시스템을 확보하는 것이 필수적이다. 축기진력 계측을 위한 모

형실험 장치는 제한된 크기의 모형선 축계에 검력과 신호취득 장치를 집적화하여야 하기 때문에 설계와 제작이 용이하지 않다. 축기진력을 계측하기 위한 검력계 제작을 위해서는 감지부 구조 설계, 초소형 스트레인 게이지의 접합, 배선 및 수밀 처리 등 비교적 난이도가 높은 기술이 필요하게 된다.

SSMB에서는 타 3분력계, 선회식 추진기 동력계, 5분력계, 4분력계, 2분력계, 부가물 국부력 계측용 2분력계 등 다양한 종류의 검력 시스템을 자체 개발, 실험적 연구에 적용하여 많은 연구 성과를 얻고 있으며, 이를 통해 얻어진 기술을 바탕으로 축기진력을 계측할 수 있는 계측제어 시스템을 개발하고자 하였다. 무선 데이터 계측 기술과 수밀형 6분력 검력계를 적용한 축기진력 계측 제어 시스템을 활용하여 현재까지 실험법이 구축되어 있지 않은 축기진력 성능 실험법을 개발하고 특성을 연구하고자 하였다. 예인수조의 폭과 모형선 크기의 제약으로 인해서 시운전과 동일한 선회조건을 모사할 수는 없지만, 선회조종시험장치(CMT, Circular Motion Tester)를 활용하여 사향 조건과 combined yaw 조건으로 예인전차를 구동하면서 직진 또는 선회 조건 중 어느 부분에서 가장 큰 축기진력이 발생하는 지를 파악할 수 있는 축기진력 실험법을 정립하였다. 이와 함께 사향 상태에서 추진기 위치에서의 3차원 유속을 계측하고 당 연구소에서 개발한 축기진력을 추정할 수 있는 수치해석코드에 입력자료로 활용하여 모형선의 축기진력을 계산하고 이를 실험 결과와 비교 검토하였다. 본 연구를 통하여 개발된 예인수조 축기진력 시험장치 및 성능실험법은 수치해석에 대한 검증자료로서 활용 가치가 높고, 단 시간에 정확한 축기진력을 계측할 수 있었다. 향후 실선에서 계측된 축기진력 자료가 확보되면, 실선-모형선 상관 특성을 검증할 수 있을 것이며, 보다 정확한 실선 측정법을 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 시스템 개발 및 성능 검증

계측시스템은 힘 감지부와 동력 전달부 역할을 수행하는 축기진력 계측용 6분력계를 포함하는 축계 시스템과 신호 증폭, 신호 전송 및 처리 역할을 하는 자료 취득 시스템의 두 부분으로 대별된다. 전자는 주로 기계구조 설계제작 기술 및 다분력계 센서 제작 기술 (Hoffmann, 1989; Hagesteijn, et al., 2012) 등의 요소 기술이 필요한 부분이며, 후자는 전기 신호를 증폭하고, 전송하며 원하는 형태로 저장하는 전기 전자 및 제어 계측 프로그래밍 기술이 주요 요소 기술이다. 회전하는 축계 시스템 내에서 6분력을 계측하고 신호 전송과 처리를 위해서, 넓은 공간이 요구되는 슬립링(slip ring)을 이용한 유선 방식 대신 무선으로 신호를 처리하는 신기술과 초소형 다분력 수밀 회전 검력계 설계 제작 기술 등 2가지의 새로운 핵심 요소 기술을 신규 개발하여 적용하게 되었다. 이러한 새로운 개념 및 기술을 적용하여 축기진력 6분력 계측시스템을 설계, 제작하기로 하였다.

2.1 축기진력 6분력계 설계 제작

추진기 면으로 유입되는 유동의 위치별 유속과 방향의 변화에

따라서 추진기의 추력과 토크의 크기 및 작용 중심점은 달라지게 된다.

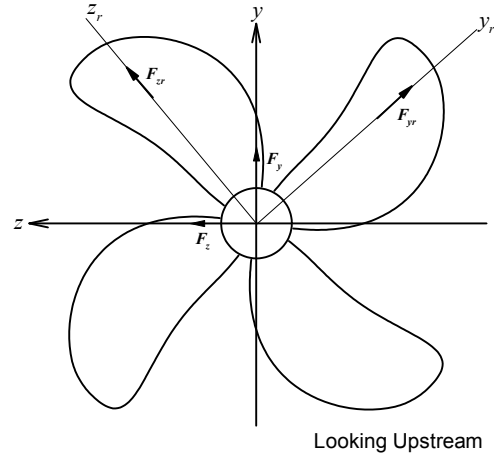


Fig. 1 Definition of coordinates system

Fig. 1에 나타난 좌표 정의와 같이 축기진력은 $F_y-F_z-M_y-M_z$ 를 지칭하는 물리량으로 프로펠러의 추력, 토크, 작용점의 3요소에 의하여 결정된다. 프로펠러에서 생성된 축기진력을 정확하게 계측하기 위해서는, 베어링의 간섭이 없는 추진기와 스텐 튜브 사이에 축기진력 계측용 센서가 위치하는 것이 적합하다. 하지만, 이 위치에서 축기진력을 계측할 수 있도록 하기 위해서는 다분력 계측, 초소형, 수밀 이라는 조건을 충족시켜야 하는 어려움이 있다. 또한 다분력 신호를 처리해야 하는데 공간의 부족으로 인하여 기존의 슬립링을 이용한 유선 신호처리 방식으로는 거의 불가능하게 된다. 이러한 여러 제약 조건을 극복하고 목표로 하는 축기진력에 기여하는 분력들을 성공적으로 계측할 수 있도록 새로운 개념의 시스템을 고안하여 설계하고 제작하고자 하였다.

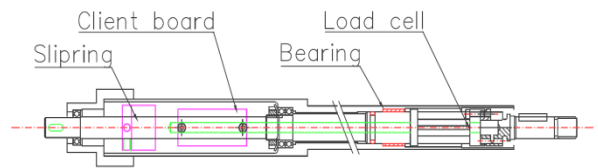


Fig. 2 Drawing of shaft system with six-component shaft force sensor

계측 시스템은 수밀형 6분력계로 구성하고 추진기와 직접 결합함으로써 스텐 튜브 저널베어링의 간섭을 피할 수 있도록 설계하였다. 계측 신호는 회전하는 축계 상에서 신호를 증폭하고 자료를 처리할 수 있는 무선 신호 처리용 장치를 개발하여 축계 내에 내장하는 축계 일체형으로 제작하였다. Fig. 2에는 축기진력 센서 및 축계 연결부를 표시한 설계 도면으로서, 우측 끝 단에 모형추진기를 부착할 수 있는 부분과 좌측으로 이어진 가장 근접한 부분에 추진기의 추력을 계측할 수 있는 센서, 그리고 좌측 부분에 토크 및 축기진력에 해당하는 $F_y-F_z-M_y-M_z$ 성분의 분력을

계측할 수 있는 5분력계가 일체형으로 연결되도록 설계하였다. 이어서 스텐 튜브 내부에 설치된 연장된 축에 무선 신호 처리 기판이 설치될 수 있도록 구성하였다.

2.2 자료 취득 시스템 설계 제작

자료 취득 시스템은 기존의 슬립링을 사용하여 스트레인 게이지로부터 발생하는 미소 변화 전압을 전송하는 일반적인 방법과는 다른 radio frequency 무선 전송 방식을 채택하고 미소 신호를 증폭할 수 있는 기능을 갖는 client part, client part로부터 발신된 자료를 수신하고 값을 보여주는 기능과 컴퓨터로 전송할 수 있는 기능을 갖춘 host part, 그리고 최종 계측자료를 저장하고, 자료를 그래픽 및 각종 방법으로 확인할 수 있는 GUI 프로그램 부분 등 3가지로 구성하도록 하였으며, 특히 회전하는 추진기 신호 처리용이므로 샘플링 수는 시험에 사용하는 6익 프로펠러를 기준으로, 최고 회전 속도 8 RPS 실험하는 것을 감안하여 3차 성분까지 확인할 수 있도록 초당 500개 까지 획득할 수 있도록 설계 기준을 정하였다.

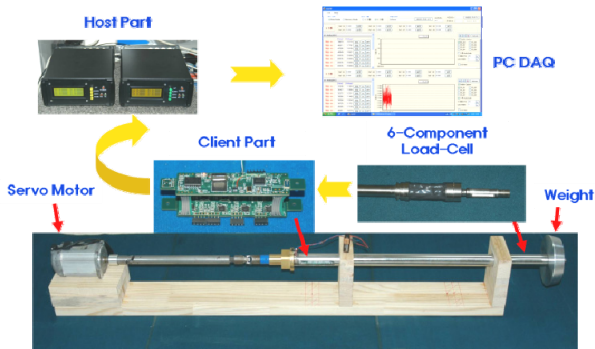


Fig. 3 Assembled experiment system and signal processing procedure

완성 조립된 시스템은 Fig. 3에 도시된 바와 같이 모터, 축계, 축계 내부에 일체형으로 설치된 무선 신호 처리장치(회전), 다분력계, 모형 추진기로 구성되며, 외부에는 무선 신호를 수집해 자료 해석용 전신기로 송신하는 장치와 계측 및 해석용 전신기로 구성된다. 전체 계측 제어시스템을 통하여 발생된 각종 신호들의 상태를 확인하고 특성을 파악할 수 있는 계측제어 구동 프로그램도 함께 표시되었다. 완성된 6분력 축기진력 계측제어 시스템은 축계에 대부분의 시스템이 내장된 초소형 형태로 간결하여 시험 설치가 용이하고, GUI 기법을 통한 일목요연한 계측 제어가 가능하도록 구현됨으로써 시험의 편리성과 효율성을 크게 제고시켰다.

2.3 성능 검증

2.3.1 검력계 교정

센서를 제작하고 특성을 확인하기 위하여 다분력 교정기를

사용하여 6방향의 힘과 모멘트를 동시에 모두 부여하면서 교정을 실시함으로써 각각의 힘과 모멘트의 정도와 상호 간섭 정도를 확인하고자 하였다.

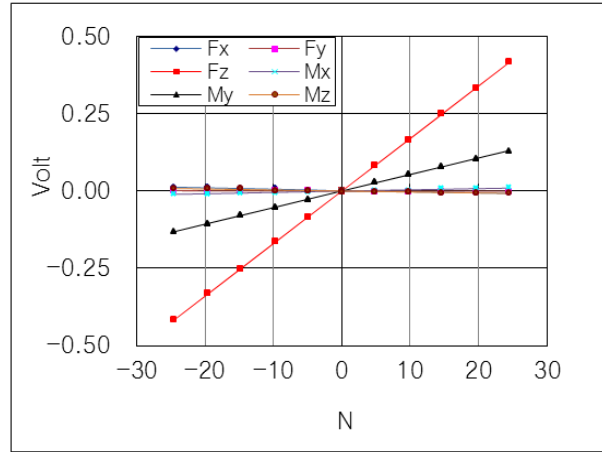


Fig. 4 The results of static calibration

Fig. 4에 표시한 바와 같이 Fz 방향의 센서 교정 결과, 각각의 방향에 대한 직진성 정도는 0.1% 이내로 높은 정확도를 가지고 있음을 확인하였다. 또한, 상호 간섭은 대부분은 1%이내의 우수한 성능을 보였으며, 회전 토크 인가시 추진력에 대한 부분만 최대 2.5%까지 나타나는 것을 확인하였다. 제한된 공간에서 6방향의 힘을 동시에 계측할 수 있도록 설계, 제작된 다분력 계측용 센서임에도 불구하고 높은 정도를 보이고 있다.

2.3.2 회전 성능 검증

새로운 개념 설계 및 정교한 제작 기법을 적용하여 제작한 축기진력 6분력계와 무선 신호 처리 및 자료 취득 시스템을 적용하여 정적 교정을 실시한 결과, 실험 정도를 만족시킬 수 있는 우수한 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 정적 성능 검증은 센서 및 신호 처리 시스템에 대한 기본적인 성능 중의 하나인 반면, 회전형 계측 제어 시스템인 축기진력 계측 제어 시스템은 모터로 회전시키면서 실제 실험과 거의 유사한 상황을 재현하여 잡음신호 발생, 신호의 흐름 또는 점프 등의 신호 이상을 확인하는 회전 성능시험은 사전에 필수적으로 필요한 검증 방법이다.

Fig. 3에 도시한 바와 같이 모형선 대신 시험장비를 지지할 수 있는 장치를 제작하여 모터-커플링-축계-회전형 무선 신호 처리장치-스텐 튜브 및 축계-축기진력 계측용 6분력계-추진기 대용 원반추 등 전체 시스템을 순차적으로 연결하였고, 일정한 회전수로 회전시키면서 발생하는 6분력 신호를 무선데이터 중계를 통하여 PC로 입력하고, 개발된 자료 취득 프로그램을 활용하여 계획한 500Hz의 샘플링까지 센서의 신호를 정상적으로 계측하여 저장하는 전체 기능을 확인하였다.

Fig. 5 에는 축이 회전할 때 발생하는 신호 중 축기진력 성분인 M_z - M_y - F_z - F_y 의 4분력을 표시하였다. 프로펠러를 대신한 원반추의 자중에 의하여 4분력이 주기적으로 발생됨을 알 수 있다. 모터의 회전 주기에 따라 주기적인 신호에 미소한 양의 전기잡음 신호가 나타나지만 상대적으로 작은 양으로서 실험의 정도에는 별 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한 프로펠러를 회전시키는 모터를 켜 상태에서 끈 상태에서 전기잡음의 크기를 확인하는 실험도 실시하였는데 구동모터 전원의 유무에 관계없이 일정한 신호를 나타내고 있어 모터의 영향이 계측 신호에 영향을 미치지 않고 있음을 확인 하였다.

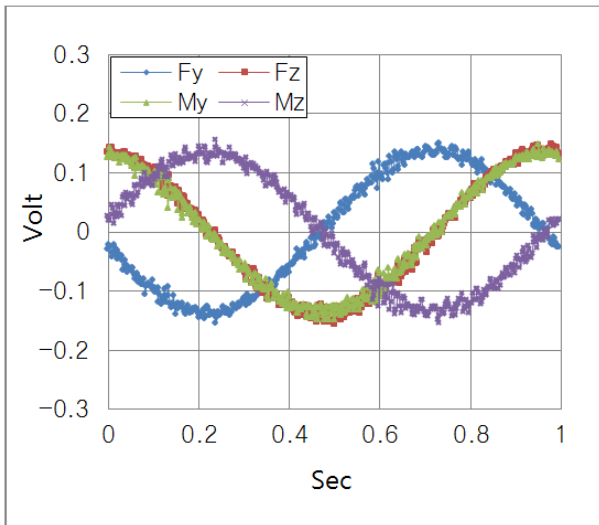


Fig. 5 Signal histories of shaft forces and moments during 1 RPS

3. 모형 실험법 개발

MHI, MARIN, HSVA 등의 해외 연구 기관으로부터 수행된 일반 프로펠러 추진 시스템에 대한 축기진력에 대한 실험적 연구는 주로 직진상태를 상정하고 공동(cavitation) 관찰 및 특성 연구를 주요 대상으로 하는 추진기 분야에 한정된 공동수조 연구가 대부분이었다. 하지만, 2000년대에 초대형 선박이 건조되면서 발생한 축계 베어링 파손 위험성 등의 축기진력에 대한 문제는 선회 능력, 급제동 운전 등의 조종성능 평가를 위한 실선 시운전 시험 시에 발생할 수 있어서 기 수행된 직진상태로 국한된 실험 자료와 수치해석법을 활용한 자료만으로는 원인 및 해결 방안을 찾는 것은 한계가 있다.

축기진력 관련 실험적 연구를 수행하였던 연구 기관의 실적 조사 결과를 토대로 본 연구의 목적과 범위를 계획하였다. 실험 연구를 수행하기 위해서는 축기진력을 계측할 수 있는 우수한 성능을 갖는 계측제어시스템을 확보하는 것이 필수 사안이다. 이러한 이유에서 전 장에서 기술한 바와 같은 축기진력 계측용 6분력계와 신호처리장치를 자체 설계 제작하였으며, 교정 및 신호 검증 을 통하여 계측 시스템의 전체 성능을 확인하였다.

3.1 실험법 고안 및 실험계획 수립

현재까지 축기진력에 대한 실험적 연구는 공동수조나 예인수조에서 직진 상태로 축기진력 계측용 센서를 사용하여 물리량을 계측하는 방법이 주로 사용되었다. 이러한 경우에는 축기진력의 특성을 파악하기 위한 순수한 연구 차원에서 수행되는 경우가 많았다. 하지만, 최근에 대 마력 선박의 축 베어링 파손 문제는 직진 운항 상태가 아닌 선회 운항 중 축기진력이 증대되면서 발생하는 것으로 추정되고 있어, 기존의 실험적 연구 정보로는 충분한 원인과 특성을 파악하기가 어려운 상황이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 선회 상황이 고려된 새로운 모형 실험법을 제안하고 수행하고자 하였다. 선회시 축기진력 계측 실험은 실제 선회 운동과 동일한 궤적의 조건으로 실험을 수행하는 것이 가장 바람직하다.

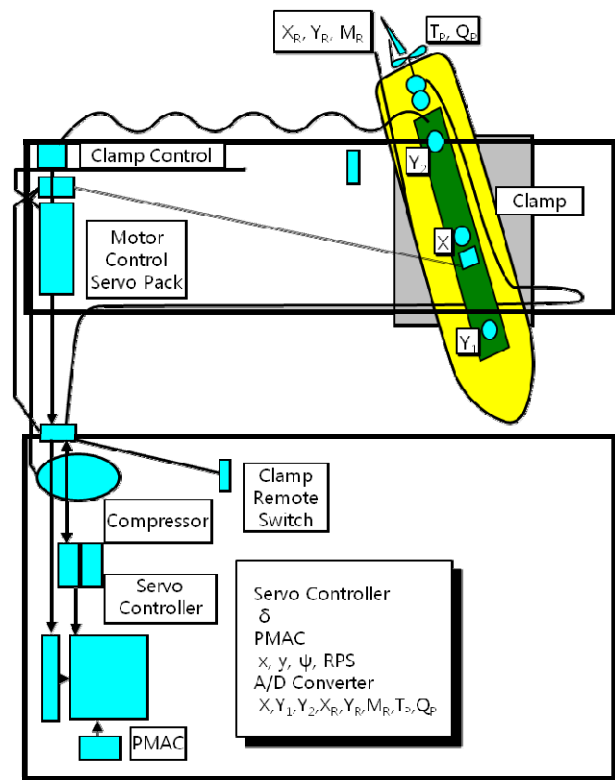


Fig. 6 Configuration of the circular motion tester

하지만 예인수조 폭의 크기가 한정된 상황이므로 당사가 보유한 예인수조와 조종시험용 장비인 CMT를 이용하여 실제 선박의 선회 운동과 유사한 운동을 재현하는 실험법을 제안하고자 하였다. Fig. 6에 도시한 바와 같이 본 시험에 사용한 CMT는 일반적으로 HPMM 장비에 적용되는 scotch-yoke 방식이 아닌, AC servo motor, rack-pinion 기어 및 리니어 가이드를 조합하여 폭 방향으로 10m 까지 정밀 제어할 수 있고 360도 까지 회전도가 가능하며, 주 전차와 연결하여 3축 동시 정밀제어가 가능하도록 설계 제작된 당사의 조종시험 전용 장비이다.

실제 선박은 선박의 무게 중심을 기준으로 사향각 β 로 선회하

게 되며, 프로펠러 관점에서는 선회 각속도와 선박의 무게 중심으로부터 추진기까지의 거리를 곱한 실사향각 α 로 유동이 유발되게 된다. 이러한 실제 선박의 선회 궤적을 모형선에 그대로 적용하기 위해서는 전차의 직진방향과 yaw & sway 운동의 복합 거동을 구현해야 하지만, 길이 방향의 속도 제어는 전차의 관성이 너무 크고, 횡 방향은 수조의 크기 제한으로 인하여 운동학적으로 상사한 조건을 재현할 수 없다. Fig. 7에 표시한 바와 같이, 이러한 어려움을 극복하고 보유 장비를 활용하여 제한된 선회 조건에서 실험 목적을 충족시킬 수 있도록 제어 가능한 static drift test와 combined yaw test를 수행하도록 하는 새로운 실험법을 고안하였다. 이는 실제 시운전 시 선박의 선회 궤적을 미리 시뮬레이션하고, 선회 각도와 사향각에 대한 정보를 분석하여, 축기진력의 크기 및 특성을 대표할 수 있도록 사향각, 실사향각, 유속 조건을 선정하는 방법이다. 좌현 방향과 우현 방향 선회 시 각각 3가지 위치에서의 조건들을 조사하고 실험 조건들을 결정하였다.

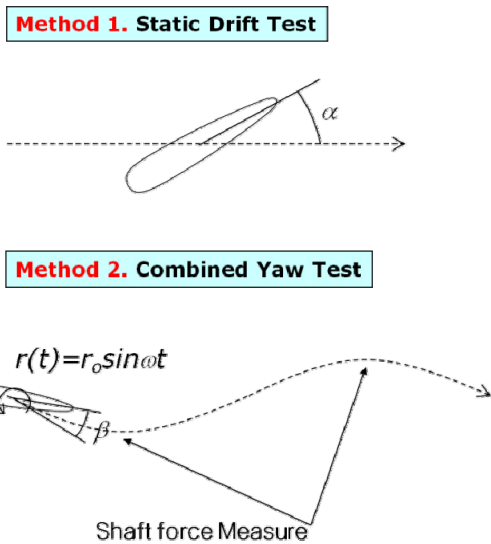


Fig. 7 Newly proposed methodology for obtaining turning motion

모형시험 과정을 단계별로 상세히 정리하면 다음과 같다.

Step 1 Test trajectory

실제 시운전 시 유사 정보를 획득하고 조종 시뮬레이션을 통하여 축기진력의 특성을 대변할 것으로 예측되는 과도, 최대 선속 동요 각속도, 정상선회 그리고 직진 상태 등 총 4가지의 선회 조건을 만족하는 모형 실험 궤적을 결정한다.

- 1) 시운전 또는 조종시험 선회 자료 확보 및 선회 특성 분석
- 2) drift, combined yaw test를 위한 실사향각 α , 사향각 β , yaw rate r , 선속 U 값 변환
- 3) 과도, 최대 선속 동요 각속도, 정상선회 상태에서의 선회 모형시험 정보 발체

Step 2 Test set-up

실험 궤적 조건이 결정되면 설계 제작한 축기진력 6분력계와 계측시스템 및 모터를 모형선에 장착하고 이를 조종시험 대차에 연결하는 설치 단계를 진행하게 된다. 일반적인 조종시험 준비 작업에 새로운 축기진력 계측 시스템을 연계 설치하는 단계이다.

- 1) 축기진력 계측용 6분력 계측 시스템 교정 및 설치
- 2) CMT에 모형선 설치
- 3) 모형선 구동을 위한 제어모드 정보 입력

Step 3 Measurements & analysis

설치가 완료되면 실험 설비 및 장비의 간단한 작동 시험을 거쳐서 각각의 실험 조건에 따라서 실험시스템을 작동하고 신호 결과를 계측하게 된다.

- 1) 과도, 최대 선속 동요 각속도, 정상 선회상태 제어
- 2) 6분력, 조종시험 정보 (위치, 각도, 속도), 회전 시작 정보
- 3) 500 Hz 샘플링 조건으로 자료 취득
- 4) 신호 확인 및 분석

4. 실험 결과 분석

대형 컨테이너선을 대상으로 모형시험을 실시하였다. 실험 조건은 실제 선박의 선회 궤적을 대상으로 시뮬레이션하여 3개의 선회 지점과 직진 상태에서 우현 및 좌현 방향에 대하여 사향 시험과 combined yaw 시험을 수행하였다. 실험 정보 들을 간단히 하나의 그림으로 도시하여 모형선에서의 물리량으로 전체적인 특성을 파악하고자 하였다.

Fig. 8과 Fig. 9에 모형선 축기진력에 대한 힘과 모멘트를 도시하였다. 6분력계에 의해서 계측된 결과와 Fig. 10의 사향 반류 시험으로부터 계측된 속도 분포를 입력 자료로 활용하여 당사가 보유한 축기진력 추정 프로그램을 통한 수치해석 결과를 함께 비교하였다. 실험값과 수치해석 값의 크기와 방향은 힘과 모멘트 모두 약간의 차이는 보이고 있으나 같은 위상에 위치하여 유사한 크기를 나타내고 있다. 계측 반류를 입력자료로 활용하여 수치해석을 수행하는 경우에는 실험값과 큰 편차가 없어 축기진력에 대한 신뢰성이 어느 정도 확보되는 것으로 판단된다. 좌현 선회의 경우가 우현 선회에 비하여 약 40% 축기진력이 크게 계측되었다. 이는 프로펠러의 회전 방향과 입사류의 영향으로서 물리적으로 타당한 결과라고 할 수 있다. 축기진력은 추력의 20% 정도의 크기로 작용함을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 위치에 따른 힘의 크기를 살펴보면, 직진 상태에 비해 과도 상태에서는 작용하는 힘이 커지고 최대 선속 동요 각속도 위치에서 가장 큰 값을 보이며 일정한 원운동을 하는 정상선회 상태에서는 크기가 매우 감소하는 경향을 보이고 있어 최대 선속

동요 각속도 상태에서의 값이 축베어링 설계에 중요한 인자가 될 수 있음을 알 수 있다.

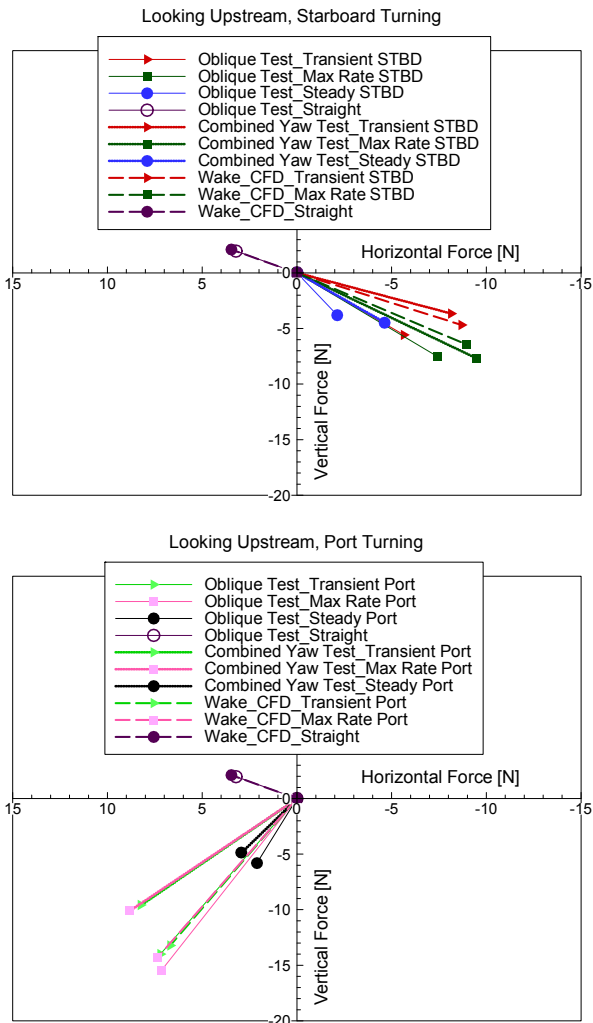


Fig. 8 Comparison of model shafting forces obtained by experiments and CFD analysis using nominal wakes from oblique tests

우현 선회인 경우 Fig. 10에 표시된 것처럼 프로펠러 면에서의 반류 분포는 우측 하단 방향으로 저속 구간이 존재하므로 이 영역에서 힘이 가장 크게 작용하게 되고 힘의 방향은 우측 하단 방향으로 나타나고 있다. 이에 반하여 좌현 선회의 경우에는 반류 분포가 좌우 반대로 나타나므로 축기진력도 좌 하방으로 향하게 되며 실험 결과가 이러한 사실을 잘 설명해 주고 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 축기진력에 대한 물리적인 특성을 정성적, 정량적으로 정도 높게 파악할 수 있는 실험시스템 개발 및 새로운 실험법을 제시하였다. 이를 위하여 축기진력의 주요 성분인 축에 수직인 힘 및 모멘트 성분 F_y - F_z - M_y - M_z 과 추력 T 및 토크 Q

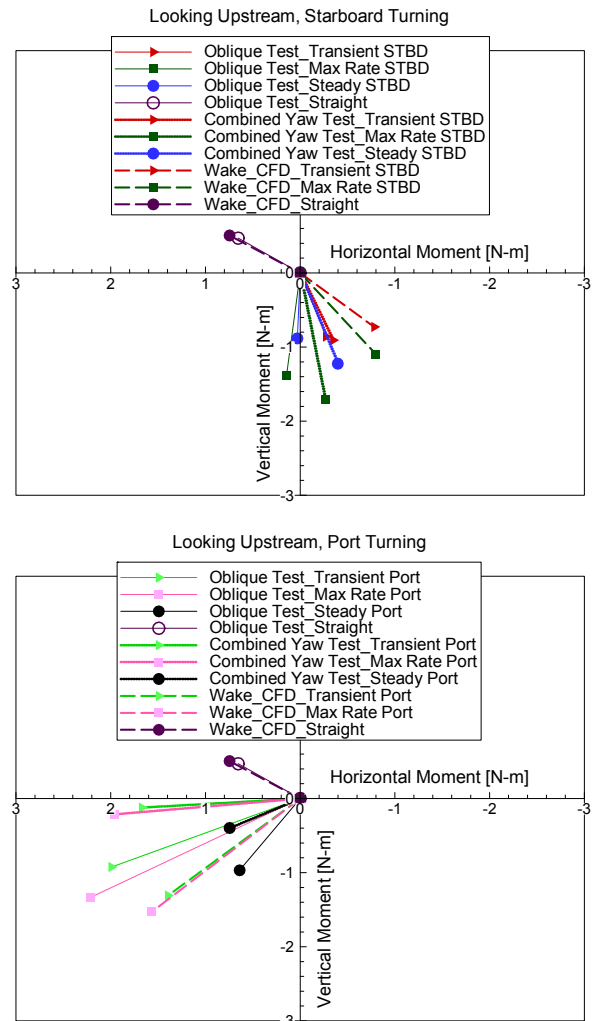


Fig. 9 Comparison of model shafting moments obtained by experiments and CFD analysis using nominal wakes from oblique tests

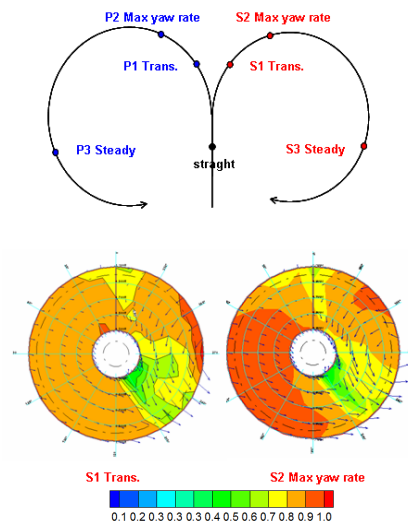


Fig. 10 Nominal wake contours obtained from oblique tests with equivalent drift angles at transient and maximum yaw rate positions

를 계측할 수 있는 축기진력 계측용 6분력계를 자체 설계 제작하였으며, 회전체에서도 자료 취득과 전송이 용이한 무선 전송 방식 자료 취득 및 처리 시스템을 개발하였다. 또한, 선회 상태에서 축기진력을 계측할 수 있는 새로운 모형 실험법을 제안하였으며 이에 대한 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

축기진력 계측 제어 시스템 개발

축기진력 계측용 6분력계 $F_y-F_z-M_y-M_z-T-Q$ 를 자체 설계 제작하였다. 소용량, 소형, 수밀 검력계로서 직진성 0.1%, 간섭도 2.5% 이하를 보이고 있음을 교정을 통하여 확인하였다. 또한, 6분력을 동시 계측할 수 있는 신호증폭 및 500Hz의 데이터 계측 시스템, Radio Frequency 방식을 적용한 무선전송시스템 및 자료취득 저장 장치를 자체 개발하였다.

축기진력 성능 추정 모형시험 및 해석

축기진력 계측을 위한 새로운 모형 실험법을 개발하였다. 과도, 최대 선수 동요 각속도, 정상 선회 상태를 사항 상태와 combined yaw 시험 조건으로 변환하고, 조종시험장비로 궤적을 정밀 제어하면서 축기진력을 계측하는 방법으로서, 축기진력의 크기와 특성을 정확하고 빠르게 파악할 수 있었다. 선회각이 클수록 반경 방향과 접선 방향의 유속 변화가 진행 방향의 유속 변화보다 더 크게 변동하는 특징을 보이고 있어, 이러한 문제가 선회 시 축기진력을 크게 하는 주요 인자임을 실험적으로 검증하였다. 또한, 사항 반류시험을 수행하여 그 결과를 활용한 수치해석을 수행하였으며 실험 결과와 비교 검토하였다. 향후 유용한 실선 계측 자료를 확보하여, 모형시험을 통하여 구한 실선에 대한 축기진력 추정자료와 상호 면밀한 비교 검토를 통한 정밀 검증 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

Hagesteijn, G. Brouwer, J. & Bosman, R., 2012. Development of a six-Component blade load measurement test setup for propeller-ice impact. *31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil, 10-15 June 2012.

Hoshino, et al., 1978. *Measurement of Propeller Bearing Force*, MHI Vol.15-No.3.
 Hoffmann, K., 1989. *An Introduction to Measurements Using Strain Gages*. Hattinger Baldwin Messtechnik. GmbH.
 Jion, C.B. kim, S.P. Park, J.S. & Choi, Y.B., 2005. A study on emergency single operations for twin-screw large LNG carrier. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK*, Youngin, pp.327-330.
 Jun, D.S. & Hwang, Y.S., 2008. Study on the propeller loads during maneuvering motion of ship. *Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK*, Jeju, pp.1075-1079.
 Rhyu, S.S. & Lee, Y.J., 2009. Development of New Experiment on the Shafting Forces and Moments of a Ship in Towing Tank, *Samsung Ship Model Basin Technical Report*.
 Van der kooij, J., 1980. Experimental Determination of Propeller-Induced Shaft Force, *MARIN Technical Report No. 646*.

