

소형선박용 워터 터보 스러스터 개발에 관한 연구 Development of Water Turbo Thruster for Small Ships

김재규* · 류영현**†
Jaegyu Kim* and Younghyun Ryu**†

(Received 20 November 2023, Revision received 24 January 2024, Accepted 16 February 2024)

초록 : 연안을 항해하는 소형선박은 항해시간 및 항해거리가 대형선박과 비교했을 때 짧기 때문에 잦은 입·출항이 이루어지고 있다. 선박에는 입·출항 시 선박의 조향능력을 향상시키기 위해서 보조적인 조향능력을 갖도록 해주는 장치로 선박의 선수 및 선미에 Bow & Stern thruster가 설치되어 있다. 국내에서 사용되고 있는 스러스터(Thruster)는 대부분 수입에 많은 의존을 하고 있는 실정이기 때문에 국내 생산기술 확보가 필요하다. 이에, 본 연구에서는 낮은 수심에서도 소형선박의 접·이안이 용이하고 기존 선박에 추가설치 및 개조가 가능하며, 편의성 증대 효과를 낼 수 있는 고성능 수압펌프를 적용한 30 kgf급 펌프 일체형 워터 터보 스러스터를 개발하여 어선 등의 소형선박에서의 적용 가능성을 시도하였다.

키워드 : 소형선박, 개조, 펌프, 스러스터, 워터 터보 스러스터

Abstract : Small ships sailing along the coast have shorter sailing times and distances compared to large ships. Therefore, small ships enter and depart frequently. Bow and Stern thrusters are installed on ships at the bow and stern of the ship as a device to provide auxiliary navigation capabilities to improve navigation ability of the ship when entering and leaving port. Since most thrusters used in Korea are heavily dependent on imports, it is necessary to secure domestic production technology. Therefore, in this study, a 30 kgf pump-integrated water turbo thruster was developed using a high-performance water pressure pump that facilitates docking and unloading of small ships even at low water depths, which allows additional installation and retrofitting to existing ships, and increases convenience. The system was developed and its applicability to small vessels such as fishing boats was attempted.

Key Words : Small Ship, Retrofit, Pump, Thruster, Water Turbo Thruster

1. 서 론

연안을 항해하는 소형선박은 항해시간 및 항해거리가 대형선박과 비교했을 때 짧기 때문에 잦

은 입·출항이 이루어지고 있다. Ryu et al.¹⁾ 연구에서는 잦은 입·출항과 잦은 선속 변경으로 엔진의 연소성능이 저하될 수 있는 소형선박용 디젤엔진의 연소성능 및 유해 배기배출물을 개선하기 위

**† 류영현(<https://orcid.org/0000-0002-4453-3971>) : 교수,
국립목포해양대학교 해양메카트로닉스학부
E-mail : yhyu@mmu.ac.kr, Tel : 061-240-7243
*김재규(<https://orcid.org/0009-0004-9878-6079>) : 연구소장,
미래테크

**† Younghyun Ryu(<https://orcid.org/0000-0002-4453-3971>) :
Professor, Division of Marine Mechatronics, Mokpo National
Maritime University.
E-mail : yhyu@mmu.ac.kr, Tel : 061-240-7243
*Jaegyu Kim(<https://orcid.org/0009-0004-9878-6079>) : Director
of Research Institute, Miraetech.

하여 현재 운항되고 있는 4행정 디젤엔진이 탑재된 소형선박의 연소상태를 진단하여 연소성능개선 및 배기배출물 저감 방안을 제시하였다.

또한 Ryu et al.²⁾과 Jung et al.³⁾ 연구에서는 입출항이 잦은 중소형 선박으로 분류되고 있는 운항 중인 실선, 국립목포해양대학교 실습선 새누리호와 국립부경대학교 실습선 가야호의 디젤발전기를 대상으로 질소산화물을 감소시키기 위한 선택적 환원촉매 설비(SCR)의 설치 개조에 관한 연구를 각각 소개하였다.

그리고 Yun et al.⁴⁾ 논문에서는 소형선박용 디젤엔진에서 발생하는 미세먼지를 저감시키기 위한 소형선박용 미세먼지저감 장치의 설계를 위한 다양한 조건의 수치해석적 연구를 발표하였다. 이러한 소형선박으로 분류되는 해양레저선박은 지속적으로 증가 추세라는 조사 보고가 있다.⁵⁾

선박에는 입·출항 시 선박의 조향능력을 향상시키기 위해서 보조적인 조향능력을 갖도록 해주는 장치로 선박의 선수 및 선미에 Bow & Stern thruster가 설치되어 있다. 대부분의 Bow & Stern thruster는 스크류 프로펠러 타입이 주를 이루고 있다. 국내에서 사용되고 있는 스러스터(Thruster)는 대부분 수입에 많은 의존을 하고 있으며, 정밀한 제품생산을 목적으로 하는 스러스터는 제작단계에서부터 철저하게 요구되는 제작기술과 까다로운 공정이 있으며 이를 보다 효율적으로 완벽하게 대응 가능한 국내 생산기술 확보가 필요하다. 기존 스크류 프로펠러 타입의 스러스터는 로프 및 해상부유물로 인한 걸림에 의해 파손과 이물질 부착에 의한 성능 저하가 발생되고 있다. 그러므로 고장 시에 유지 보수가 어렵고 많은 비용이 발생되고 있다. 스크류 프로펠러 타입의 스러스터는 신규로 제작되고 있는 선박에는 장착이 가능하지만 이미 운항되고 있는 운항선박에 추가로 장착하기에는 설계변경 및 추가 공사비가 발생하기 때문에 사실상 힘든 상황이다.

본 논문에서는 소형선박에 장착이 가능하고 기존 선박에 추가설비 개조(Retrofit)가 가능한 펌프 일체형 워터 터보 스러스터(Water turbo thruster) 개발을 소개하고자 한다. 워터 터보 스러스터 관

련 기술은 이미 유럽이나 미국에서 일부 고급 레저선박에 적용되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 낮은 수심에서도 소형선박의 접·이안이 용이하고 기존 선박에 개조가 가능하며, 편의성 증대 효과를 낼 수 있는 고성능 수압펌프를 적용한 30 kgf급 펌프 일체형 워터 터보 스러스터를 개발하여 어선 등의 소형선박에 적용하는 것이다. 더불어 워터 터보 스러스터에 대한 기초 실험을 통하여 국내기술 확보를 위한 설계 자료를 확보하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 펌프의 선정 및 펌프 설계

본 연구에서는 스러스터용 펌프의 고출력과 해수 사용 조건을 만족할 수 있는 펌프가 요구된다. 따라서 토출 압력이 30 kgf급 이상(유량으로 환산 시 $21 \text{ L/sec} = 1,256 \text{ L/min} = 1.256 \text{ m}^3/\text{min}$)으로써 해수에 강하고 내부식성이 우수한 재료의 최적화된 구조의 펌프가 요구된다. 그리고 공간이 작은 소형선박에 설치하기 위해서 부피를 최소화할 필요가 있다.

Table 1에서는 펌프의 유량, 양정, 회전수, 효율 그리고 임펠러의 갯수 등의 선정된 펌프 사양을 보여 준다.

Table 1 Pump properties

Item	Value	Unit
Flow rate	1.256	m ³ /min
Pump head	8.022	m
Speed	2,900	RPM
Efficiency	70	%
Number of blades	6	EA
Motor frequency	60	Hz
Liquid	Sea water	
Temperature	15	℃

2.2 펌프 임펠러 설계

펌프 임펠러는 고강도, 고경도이며, 내식에 강한 SUS304 재료를 선정하여 제작하였다. 임펠러는 주물로 제작되는 경우가 많으나 초기 주물 제작 시 많은 비용이 발생되고 추후 변경 및 수정이 용이하지 않음을 반영하여 1차 임펠러 제작은 5축 정밀 가공기를 사용하여 제작하였다. Fig. 1은 제작된 밀폐형 임펠러를 보여 준다.



Fig. 1 Closed impeller

2.3 펌프 케이싱 설계

펌프 케이싱은 임펠러의 형상이 계산된 펌프 하우징 제작이 필요하다. 스러스터 펌프는 공간이 작은 소형선박에 설치하기 위해서 고성능의 유량을 토출할 수 있는 최소한의 부피를 가진 펌프 케이싱 설계가 필요하다. 와류실을 가지며, 흡입구는 축 방향으로 하고 토출구는 상 방향으로 향하여 펌프 중심에 있게 설계하였다. 케이싱의 결합 홈은 SUS 재질의 10 mm 볼트를 기준으로 하였으며, 결합 성능 및 작동 진동에 대한 영향을 최소화하기 위하여 70 mm 간격으로 홈을 가공하여 성능을 최적화하였다. 케이싱의 회전차는 토출구



Fig. 2 Pump casing

경을 50 mm로 제작하였으며, 케이싱 안쪽에 회전각을 주어 수차의 회전력을 최대화 하였다. 또한 펌프 케이싱은 원형이 아닌 유선형 형태를 갖게 함으로써 유체가 원심력에 의한 회전에 토출될 수 있도록 설계하였다. 케이싱 커버는 내구성, 내부식성, 내마모성 그리고 내열성이 우수한 MC 나일론으로 제작하였다. Fig. 2는 펌프 케이싱을 보여 준다.

2.4 스러스터용 3-way 밸브 개발

스러스터용 3-way 밸브는 스러스터용 펌프의 유체방향을 결정해 주는 밸브로서 전기식 장치인 액츄에이터를 이용하여 좌·우로 유체의 방향을 결정해 주는 장치이다. 밸브의 조건은 사용 유체인 해수 및 담수 기준으로 설정하고 최대 힘이 발생하는 최댓값 30 kgf로 설정하여 설계 및 제작하였다. 제어프로그램과 응용하여 펌프 작동 전에 밸브를 미리 열어 밸브와 밸브 액츄에이터에 걸리는 수압 및 관내수도 손실을 최소화하였다. 유체의 화학적 특성이나 온도에 대한 부식성과 유체의 압력에 대한 내마모성 등이 고려되어야 하기 때문에 자료 조사를 토대로 밸브 바디는 내식성이 우수하고 자성이 없는 SUS316을 사용하였고, 밸브 개폐부분인 디스크의 재질은 테프론보다 경도가 높고 가공성이 우수한 아세탈을 사용하였다. 3-way 밸브의 경우, 수압에 대한 영향이 적도록 펌프를 가동하기 전에 밸브를 미리 열어 밸브에 전달되는 압력을 최소화하였으며, 방향 회전기에도 펌프가 정지된 상태에서 방향이 변경된 후에 작동되는 원리로 제작되었다. 유량과 유속을 고려하여 배관 및 밸브의 두께를 계산하여 결정하였다. 펌프의 토출압력은 초기에 설정하였던 30 kgf에서 N 단위로 환산된 294 N값을 단면적으로 나누어 압력을 구할 수 있었다. 압력 149,809 Pa를 kg/cm^2 의 단위로 환산하면 1.528 kg/cm^2 인 것을 확인하였다. 압력 값 1.528 kg/cm^2 를 배관 사이즈별 압력과 유량 데이터에 대입하여 적용성 여부를 확인한 결과 배관의 경우 50 A 사용이 적합하다고 판단되어 적용하였다.

밸브 하우징은 원형 구조로 제작하였고, 전기식

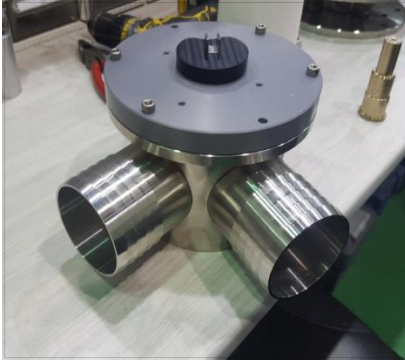


Fig. 3 3-way valve

액츄에이터를 사용하여 좌우로 토출유량의 방향을 조정할 수 있는 구조로 설계하였다. 설치 장소가 협소한 소형선박에 적합하도록 밸브 바디와 노즐이 일체화가 되도록 설계하였으며 설계 노즐은 선체에 맞게 조정설치가 가능하도록 설계검토를 진행하였다. 노즐은 토출 구경에 맞게 안쪽 디스크와 동일한 구경으로 설계하였으며, 밸브 디스크는 회전될 수 있도록 외경 106 mm로 제작하였다. 밸브 바디 두께는 펌프 설정 수압에 내구성을 갖도록 8.2 mm로 설정하였으며, SUS316 재질을 사용하여 제작하였다. 디스크가 회전할 수 있는 공간은 0.5 mm 정도의 유격으로 설정하여 좌우 방향 전환을 할 수 있도록 설계하였다. Fig. 3은 개발된 스러스터용 3-way 밸브를 보여 준다.

2.5 스러스터용 컨트롤 시스템 개발

선박의 주행 및 정박 시 선박을 중심으로 선수 및 선미의 방향 전환이 필요할 때 조이스틱을 이용하여 컨트롤러를 작동할 수 있다. 선박 중심의 하부 방향으로 연결되어 있는 흡입구로 물을 흡입한 후, 선박의 양쪽 선수의 Water line 하부로 연결되어 있는 노즐에서 토출될 수 있도록 시스템을 설계하였다. 더불어 시스템 운전 시 스러스터 수압이 고압이므로 3-way 밸브에 직접 적용하여 작동하게 되면 과부하가 걸릴 수 있으므로 3-way 밸브 펌프가 먼저 개발된 후 펌프가 기동될 수 있도록 컨트롤 시스템 운전 시 스러스터용 펌프의 모터 및 컨트롤러 전원이 DC 12V로 제어될 수 있도록 설계되었다.

스러스터 제어를 위해서는 기계조건에 맞추어 작동될 수 있도록 스러스터용 펌프 토출압력이 30 kgf 이상의 고수압임을 고려하여 설계하였는데, 3-way 밸브에 과부하가 되지 않도록 고수압 유체의 방향 전환을 용이하게 하기 위하여 3-way 밸브의 작동 시 무리가 없는 방법을 적용하였다. Thruster power switch를 ON 위치에 두고 조이스틱을 작동하면, 신호가 컨트롤러에 입력되어 펌프 전원 공급보다 1초 미만으로 3-way 밸브에 먼저 신호를 보내고 조이스틱 지시대로 3-way 밸브의 방향 제어가 완료되면 스러스터용 펌프에 전원이 공급되어 고수압 유체가 3-way 밸브를 통하여 노즐로 고수압의 유체를 보낼 수 있다. 3-way 밸브에 작은 압력으로도 작동될 수 있도록 제어설계를 완성하였다. 3-way 밸브의 개폐각도가 정해진 위치에 설정하기 위해서 3-way 밸브의 액츄에이터에 리밋 스위치(Limit switch)를 설치하여 3-way 밸브가 제 위치에서 방향이 제어될 수 있도록 하였다.

스러스터 정지 시에 3-way 밸브의 위치가 정중앙으로 자동 위치될 수 있도록 설정하여 방향 전환 시 신속하게 제어할 수 있도록 설계하였다. 또한 안전장치(Safety device) 시스템을 적용하여 다음과 같은 경우에 스러스터의 전원이 차단될 수 있도록 설정하였다.

- 1) 펌프와 배터리 전원 연결 상태 불량
- 2) 조이스틱과 컨트롤러 연결 상태 불량
- 3) 펌프와 컨트롤러 연결 상태 불량
- 4) 컨트롤러와 배터리 전원 연결 상태 불량
- 5) 컨트롤러와 3-way 밸브 연결 상태 불량

Fig. 4는 주문 제작된 Control PCB를, Fig. 5는 제작된 펌프의 외형을 보여 준다.

2.6 스러스터용 펌프 테스트 베드

스러스터용 펌프 성능을 시험하기 위하여 테스트 베드를 제작하였다. 스러스터용 펌프 테스트 베드의 수조는 3,000 mm × 2,300 mm × 1,700 mm 크기로 제작하였다. 스러스터용 펌프의 성능시험을 위한 검교정이 완료된 압력게이지, 유량의 단위 면적당 압력을 확인하기 위한 로드셀, 그리고

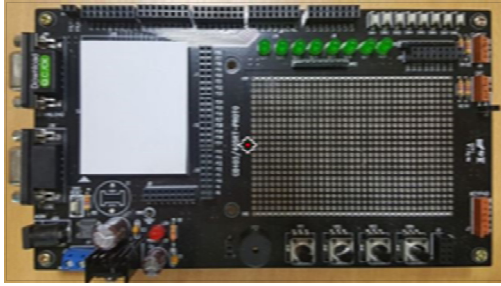


Fig. 4 Control PCB

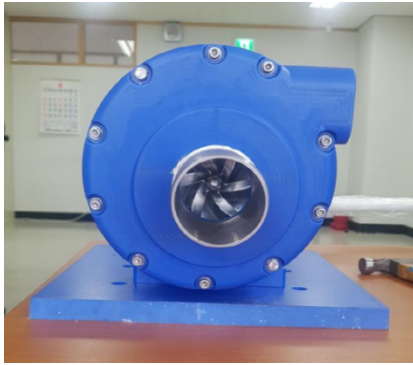


Fig. 5 Pump

컨트롤 박스의 위치를 고려하여 설계 및 제작을 진행하였다.

로드셀의 경우에는 거리에 따른 수압이 미치는 정도를 확인 및 측정할 수 있도록 가변형 활대 링크를 사용하여 장착하였고 유량을 확인할 수 있는 유량계를 추가로 부착하였다. 펌프의 노즐관은 투명 아크릴로 제작하여 실제 토출되는 양을 확인할 수 있으며, 토출 50 mm, 흡입 70 mm의 크기로 제작하여 시험을 진행하였다. 토출되는 압력은



Fig. 6 Thruster pump test bed

Table 2 Thruster pump test bed properties

Item	Description
Length (O.A)	5.8 m
Breadth	2 m
Depth	0.8 m
Draft	0.4 m



Fig. 7 Water turbo thruster



Fig. 8 Test ship

로드셀 인디케이터를 통하여 확인한 결과, 30 kgf 이상의 결과를 도출할 수 있었으며, 전양정은 다이얼 게이지를 통하여 계산되었다. Fig. 6은 스러스터용 펌프 테스트 베드를 보여 준다.

Table 2는 스러스터 펌프용 테스트 베드의 사양

을 보여 준다. 테스트 베드의 전체 길이는 5.8 m이며, 폭은 2 m, 깊이는 0.8 m 그리고 드래프트는 0.4 m로 제작되었다.

Fig. 7은 개발된 소형선박용 워터 터보 스러스터를 보여 주며, Fig. 8은 개발품을 실증할 소형선박이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 펌프 성능 평가

KS B6301에 의거하여 펌프 토출량 측정, 동력원, 전원 반응 속도, 운전상태, 수압검사, 토출압력 측정, 유량 그리고 토출압력을 이용하여 양정을 측정하였다. 펌프 성능시험은 상온의 청수로 시행하였으며, 여기에서 상온이라 함은 온도 0~40℃의 범위로 하고, 이때의 청수는 단위 체적당 중량 1 kgf/L, 밀도는 103 kg/m³로 하였다.

검교정된 로드셀을 이용하여 목표로 했던 30 kgf보다 높은 31.6 kgf의 토출힘이 측정되었다. 그리고 펌프의 흡입양정은 1.5 m, 토출양정은 24 m로 측정되었으며, 따라서 전양정은(흡입양정+토출양정)으로 계산하여 25.5 m의 결과를 얻을 수 있었다. Table 3에서는 펌프 성능 평가 결과를 보여 준다.

Table 3 Pump performance evaluation

Item	Value	Unit
Discharge force	31.6	kgf
Suction head	1.5	m
Discharge head	24	m
Total pump head	25.5	m

3.2 내진동 성능 평가

KS B ISO 10055:2001에 의거하여 기계적 진동(선박용 기기와 기계 부품에 대한 진동시험 요구사항)을 적용하여 진동시험을 수행하였다. 진동시험은 선회, 이동 중 노즐 수압, 3-way 밸브의 진동에 의한 잠재적 결함을 사전에 파악하기 위하여 복합환경 진동 시험기를 이용하여 진동시험을 수

행하여 공진주파수를 확인하였다. 워터 터보 스러스터가 선박에 설치되는 것과 동일한 방법으로 시험장비에 고정하여 실시하였다. 복합환경 진동 시험 장비의 사양을 Table 4에서 보여 준다. 또한 가속도 센서는 B&K 사의 4507B004 모델을 사용하였다. 진동시험결과는 상하방향 탐색진동시험에서 92.5 Hz±40 m/s²(90분), 좌우방향은 72.5 Hz±40 m/s²(90분), 그리고 전후방향은 30 Hz±40 m/s²(120분)의 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 4 Vibration test equipment properties

Freq. Range (Hz)		1~2,600
Rated force	Sine (kN)	54
	Random (kN)	54
	Shock (N)	108
Max. ACC.	Sine (m/s ²)	857
	Random (m/s ²)	600
	Shock (m/s)	1,714
Max. Vel.	Sine (m/s)	2.4
	Shock (m/s)	2.4
Max. Dsp.	Sine (mm)	100
	Max. travel (mm)	116
Max. Load (kg)		1,000

3.3 내염 성능 평가

KS C IEC60068-2-11 염수분무시험에 의거하여 시험하였으며, 염 용액 농도는 5±1%, 시험조 온도는 35±2℃, pH는 6.5~7.2의 시험조건에서 시험을 시행하였다. 염수분무시험장비의 사양은 다음과 같다. 내부 크기는 2,000 mm×1,500 mm×1,500 mm, 온도 제어 범위는 RT~60℃, 온도 변화 시간은 1시간 이내에 RT ↔ 60℃, 염수 강하율은 80 cm²에서 1~2 ml/h이다. 여기서, RT는 Real temperature를 의미한다. 시험은 48시간 동안 진행되었으며, 시험 결과는 염 농도 4.9%, 시험조 온도 35±2℃, 그리고 pH 6.95의 시험 결과를 얻음으로써 사용가능함을 확인하였다. Table 5에서는 시험결과를 보여 준다.

Table 5 Salt water performance evaluation results

Test condition			
Salt concentration (%)	Test bath temperature (°C)	pH concentration	Time (h)
4.9	35±2	6.95	48

3.4 온습도 성능 평가

KS C IEC60068-2-30 환경시험 내습사이클에 의거하여 시험하였다. 온도범위는 (25~55)±2℃, 그리고 습도범위는 80~100% R.H.의 조건에서 내습성을 확인하였다. 온습도 성능평가 시험 장비의 사양은 Table 6에서 보여 준다. 시험은 24시간 동안 진행되었으며, 온도와 습도범위를 만족하는 결과를 얻어 사용 가능함을 확인하였다.

Table 6 Temperature and humidity test equipment properties

Item	Description
Maker	AT Systems Co., Ltd.
Model	ATS-THT1200
Internal size	1.2 m(W)×1.4 m(D)×1.4 m(H)
Temperature range	-50~150℃
Humidity range	20~98% R.H.

4. 결 론

본 연구에서는 낮은 수심에서도 소형선박의 접·이안이 용이하고 기존 선박에 추가설치 및 개조가 가능하며, 편의성 증대 효과를 낼 수 있는 고성능 수압펌프를 적용한 30 kgf급 펌프 일체형 워터 터보 스러스터를 개발하여 어선 등의 소형선박에서의 적용 가능성을 확인하였다. 그 결과로 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

1) 기존 소형선박의 경우 프로펠러를 사용한 스러스터를 사용하여 선체에 대형 관통가공 및 시스템적인 한계가 많았으나 본 연구에서 개발된

워터 터보 스러스터는 고성능 원심 펌프에서 배출되는 수압을 이용하여 좌·우 선회방향을 결정하여 선박의 선회능력을 향상시키는 방식으로 보조 추진 장치로 수압을 이용한 30 kgf급 시제품의 제작 및 테스트 베드용 운항선박에 실질적으로 장착한 후 해상 성능평가를 진행하였으며, 우수한 성능을 확인하였다.

2) 기존 프로펠러 타입의 스러스터에서는 해상 부유물에 의한 고장이 고질적인 문제였으며, 정비하는데 많은 비용과 시간이 필요하였다. 본 연구를 통하여 이러한 문제점을 해결할 수 있음을 확인하였다.

3) 소형선박의 운항 시 엔진을 가동하지 않은 상태에서도 간단한 워터 터보 스러스터의 작동만으로도 선박의 선회방향을 조정할 수 있음을 확인하였고, 이로 인해 전·후진 및 변속에 의한 시간 손실과 연료비 절감 등의 경제적인 효과가 있음을 확인하였다.

4) 소형선박용 워터 터보 스러스터는 소형선박의 선회 및 회전 등에 사용되는 보조 장치로서, 해당 기술은 향후 레저선박, 관공선 등 유사개념의 선박에 폭넓게 활용할 수 있는 기술임을 확인하였다.

5) 최근 어선의 현대화와 고속화 추세로 인하여 2톤 이하의 소형선박이 건조됨에 따라 이러한 소형선박에 실용적으로 적용 가능한 워터 터보 스러스터 개발 및 적용 기술을 확보하였다.

Author contributions

Y. Ryu; Conceptualization, visualization and writing- original draft. J. Kim; Data curation, formal analysis, investigation, methodology, supervision, validation and writing-review & editing.

References

1. Y. Ryu, K. Jung and J. Nam, 2019, "Improvement of combustion performance and exhaust emissions through engine initialization in

- small marine diesel engines”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 43(7), 504-510.
(<https://doi.org/10.5916/jkosme.2019.43.7.504>)
2. Y. Ryu, H. Kim, G. Cho, H. Kim and J. Nam, 2015, “A study on the installation of SCR system for generator diesel engine of existing ship”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 39(4), 412-417.
(<https://doi.org/10.5916/jkosme.2015.39.4.412>)
3. S. H. Jung, T. Y. Jeong and S. C. Hwang, 2015, “Performance evaluation of SCR system for generator engine on training ship KAYA”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 19(6), 68-74.
(<http://dx.doi.org/10.9726/kspspe.2015.19.6.068>)
4. B. Yun, S. Cho and Y. Ryu, 2019, “Numerical study of impact for particulate matter reduction device according to installation of perforated plate and mixer on marine diesel engine”, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 25(7), 968-973.
(<https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.7.968>)
5. International Council of Marine Industry Associations (ICOMIA), <https://www.icomia.org>, Accessed November 15, 2023.