

## 부유식 일체형 소형워터제트 추진시스템 개발

정재훈<sup>a</sup>, 이종섭<sup>b</sup>, 이치우<sup>c\*</sup>

## Development of a Small Floating Outboard Type Water-Jet Propulsion System

Jae Hoon Jeong<sup>a</sup>, Chung Seob Yi<sup>b</sup>, Chi Woo Lee<sup>c\*</sup><sup>a</sup> Graduate School, Gyeongnam National University of Science and Technology,  
33, Dongjin-ro, Jinju, Gyeongnam-do, 52725, Korea<sup>b</sup> Industry-Academic corporation foundation, Gyeongnam National University of Science and Technology,  
33, Dongjin-ro, Jinju, Gyeongnam-do, 52725, Korea<sup>c</sup> Department of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology,  
33, Dongjin-ro, Jinju, Gyeongnam-do, 52725, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	24	June	2015
Revised	3	November	2015
Accepted	22	January	2016

## Keywords:

Water jet  
Outboard  
Propulsion  
Horse power  
Engine torque

## ABSTRACT

This paper presents the development of a floating outboard type of compact water jet propulsion system. The planning case of the water jet system is developed by performing precision processing after manufacturing FRP (Fiber Reinforced Plastics) from plug mold casting. This system is composed of an intake, impeller, diffuser, reverse bucket, and main shaft. In addition, a rebuilt engine was applied through marine engineering. The water jet propulsion system performance was verified to discharge a maximum 0.29 m<sup>3</sup>/s of flow rate and 37 m/s of flow velocity in a test pool on land. A field test was performed by installing the water jet propulsion device on board a ship that was tested off the coast of Korea. The weight of the hull, engine, and other equipment was approximately 1.2 tons, and the sailing speed was a maximum 22 knots at 3,600 rpm.

## 1. 서론

국내의 소형선박 기술 발전 추이를 보면 현재 몰드(mould: 선박 외형)는 대부분 FRP(fiber reinforced plastics) 소재를 사용하여 제작을 하나 그 외 엔진 및 선박 관련 용품은 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

소형 선박의 경우 90%가 8 m 이내의 선박이며 이중 5~8 m의 선박이 50%를 차지하며 전체 80%가 아웃보드(선외기) 형식을 가지고 있다. 특히, 선외기의 경우 전량 수입에 의존하며 그 중 80% 이상이 2행정 방식의 엔진으로 운항하며 수질 환경오염과 낮

은 연료 효율로 인하여 감소 대상으로 선정되어 있다.

기존 선외기의 프로펠러방식을 워터제트 방식으로 대체하여 국내 낮은 수심과 폐어망 등으로 인해 프로펠러가 자주 손상되는 문제를 개선 할 수 있고 인명사고의 안전에도 기여할 수 있다. 현재 선박 추진시스템은 거의 스크류 프로펠러 추진기에 의해 추진력이 발생할 수 있도록 되어 있으며, 그 장치구성에 따라 여러 가지로 나눌 수 있다. 이는 다른 추진장치에 비해 구조가 간단하고, 넓은 속도범위 내에서 추진효율이 비교적 높으면서 제작비용도 높지 않기 때문에 선박 전반적으로 널리 적용되는 추진시스템이다. 그러나 워터제트 추진장치는 저속에서 추진 효율이 일반 스크류 프로펠러

\* Corresponding author. Tel.: +82-55-751-3643

Fax: +82-55-751-3649

E-mail address: leecw@gntech.ac.kr (Chi Woo Lee).

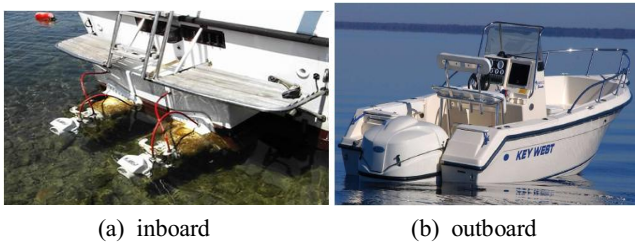


Fig. 1 Types of water-jet propulsion system on small coast-boat

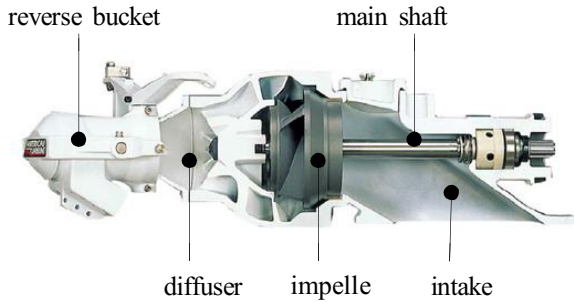


Fig. 2 Inner shape of water-jet

에 비해 낮지만, 캐비테이션 성능이 우수하여 임펠러의 고속회전이 가능하기 때문에 고속선의 추진기로 많이 사용되고 있다<sup>1-3)</sup>.

국내 해안의 경우 낮은 수심과 함께 폐어망이 산재해 있어 프로펠러 및 기관의 손상을 일으키는 경우가 많이 발생하지만 워터제트 추진 방식은 낮은 수심에서 적용이 용이하고 프로펠러가 노출되어 있지 않아 폐어망과 같은 장애물이 많은 곳에서 사용이 용이하여 인명피해나 수중생물에 대한 피해가 없는 것이 가장 큰 장점이다. 따라서 국내 서해나 남해안의 근해에서 운항되는 여선 및 양식장 관리어선의 경우 워터제트 추진 장치를 적용할 경우 적합할 것으로 기대된다. 또한 워터제트의 경우 전진과 후진이 스크류 프로펠러에 비해 신속하게 이루어질 수 있어 기동성이 우수한 반면, 스크류 프로펠러에 비해 무겁고, 펌프 임펠러에 대한 검사 및 유지보수가 불편하다. 그리고 입구부 캐비테이션에 대한 대책이 필요한 것도 큰 단점으로 작용하고 있다<sup>4-7)</sup>.

Fig. 1은 설치형태에 따른 워터제트 추진시스템을 나타내고 있다. (a)의 경우는 선박 설계 시 선체 내부에 엔진을 설치하고 워터제트와 연결하는 방식인 반면 (b)의 경우는 선체만 별도로 제작한 후 선회기 형식으로 외부에 엔진과 워터제트가 설치되어 있는 방식이며 본 연구의 개발 대상이다.

Fig. 2는 워터제트의 내부형상을 나타내고 있다. 워터제트는 크게 흡입부(intake), 임펠러(impeller), 디퓨저(diffuser), 후진부(reverse bucket), 주축(main shaft)로 구성되어진다.

본 연구는 아웃보드형식의 일체형 워터제트 추진기에 대한 개발과 실제 해상에서의 시험운항을 통해 개발된 시제품에 대한 기초성능을 확인하고자 한다.

Table 1 Specifications of engine

Item	Specifications
Engine type	I-type 5 cylinder
Displacement	2,874 cc
Power	150 HP/4,000 rpm
Torque	25.5 kg·m/2,400 rpm
Fuel	Diesel



Fig. 3 Engine dynamo test

## 2. 워터제트 추진시스템 엔진성능 평가

워터제트의 추진력을 발생하는 엔진의 경우 육상용 고속엔진을 사용하여 소형선박에 맞게 냉각수 열교환기를 설치하였고, 부식 방지를 위한 내염성과 내해수성이 강한 도료를 사용하여 엔진 및 주변장치를 표면처리 하였다. 또한 ECU 맵핑을 통해 엔진의 성능이 정상적으로 발휘될 수 있도록 마린엔지니어링을 수행하였다.

본 연구에 적용된 엔진은 150 PS급 디젤엔진으로 터보차저를 장착하여 엔진성능을 극대화 시키기로 하였고, Table 1과 같은 사양의 엔진으로 Fig. 3과 같이 엔진동력계를 통해 출력과 토크를 확인하였다.

본 연구에 사용된 동력계는 Table 2와 같으며, 실험은 KS B 6002의 규정에 따라 소형 육용 내연기관 성능 시험방법 중 부하 운전시험을 채택하여 진행하였다.

엔진동력계 실험은 시험대상 엔진의 회전수를 1,000 rpm, 1,500 rpm, 2,000 rpm으로 고정하고, Throttle valve는 실험의 안전을 고려하여 각 회전수에 따라 1,000 rpm에서는 0%에서 1분당 5%씩 60%까지 개방한 결과 값을 측정하였고, 1,500 rpm에서는 70%까지, 2,000 rpm에서는 80%까지 측정하였다.

Throttle valve 5% 열릴 때마다 10초 간격으로 측정하고, Throttle valve 안정화를 위하여 10초 이후부터 1분당 5개 측정값을 측정하였다.

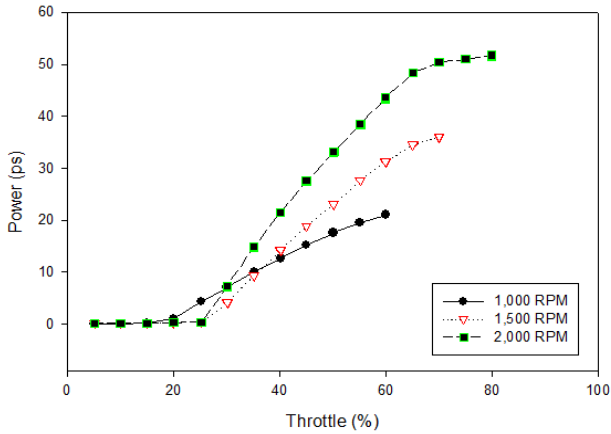
Fig. 4는 스로틀 개방비율에 따른 엔진출력을 나타내고 있다. 엔

**Table 2 Specifications of the dynamometer tested**

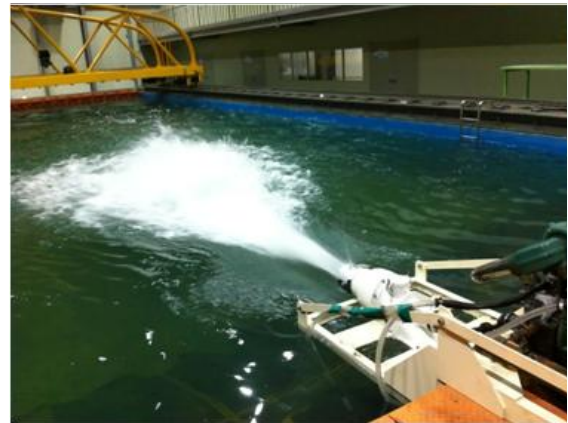
Absorption power (PS/kW)	(663/490)
Absorption torque (kg.m/N.m)	(75/735)
Maximum speed (rpm)	13,000
Rotor inertia (kgf/m <sup>2</sup> )	0.46
Cooling water volume (L/min)	125
Weight (kgf)	900

**Table 3 Performance of water-jet outlet**

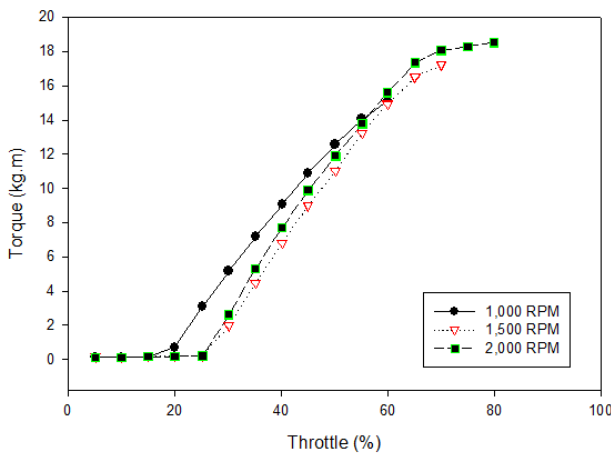
No	R.P.M	Velocity (m/s)	Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Flow rate (m <sup>3</sup> /s)
1	700	3	0.2	0.235
2	1500	10	0.7	0.078
3	2000	18	1.5	0.141
4	2500	22	2.0	0.172
5	3000	29	2.7	0.191
6	3500	37	3.5	0.290



**Fig. 4 Comparison of engine power according to rpm**



**Fig. 6 Test of water-jet from indoor water tank**



**Fig. 5 Comparison of engine torque according to rpm**

진회전수는 최대 2,000 rpm까지만 실험을 수행하였고, 이는 실제 해상에서 정속운항시 사용되는 회전수까지만 실험을 수행하였다. 그 결과 엔진회전수가 증가할수록 출력은 증가하였고, 1,000 rpm에서 스로틀 60% 개방 시 약 20 PS의 출력이 발생됨을 확인할 수 있었다. 또한 1,500 rpm의 경우 약 30 PS, 2,000 rpm의 경우 약 43 PS의 출력이 발생됨을 확인할 수 있었다. 2,000 rpm에서 스로틀 80% 개방할 경우 약 52 PS의 출력이 발생됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 스로틀 개방비율에 따른 토크를 나타내고 있으며, 엔진회전수가 낮을수록 토크가 다소 높게 나타났다. 또한 스로틀 50%

개방이후는 회전수별 토크가 유사하게 발생되고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 본 연구에 적용된 엔진이 저속 고토크형이기 때문인 것으로 나타났다.

### 3. 워터제트 추진성능 평가

워터제트 추진장치의 육상시험은 중소조선연구원에서 보유한 실내 풀을 이용하였으며, 제작된 워터제트 추진 장치와 마린엔지니어링을 통해 개발된 해상용 엔진을 사용하여 성능시험을 수행할 수 있도록 파일럿 시험장치를 제작하였다. 시험장치의 주요구성은 엔진과 1.5:1 감속기로 엔진회전수 1/3 감속하여 워터제트의 임펠러가 구동하도록 설치하였다.

실험은 엔진회전수에 따른 워터제트의 출구에서 발생하는 유속 및 유량과 노즐부위의 압력을 측정하여 기본적인 성능을 확인하였다. 실험결과 Table 3과 같이 엔진회전수에 따른 워터제트 출구에서의 유동특성을 확인할 수 있었다. 실험 결과 회전수가 증가할수록 분사속도와 압력은 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

### 4. 워터제트 일체형 케이스 개발

일체형 케이스는 Fig. 7과 같이 내부에 엔진과 워터제트 추진장



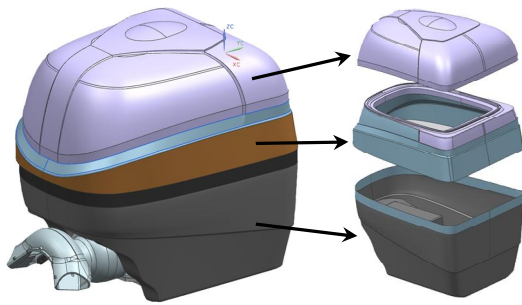


Fig. 7 Casing design of embedded small water-jet

Table 4 Dimension of water-jet casing

Item	Dimension (mm)
Overall length	1,290
Overall width	1,000
Overall height	1,340

Table 5 Specifications of 5-axis machine

Axis	Accuracy	Continuos	Feed rate
X (Length)	0.01 mm/m	0.05 mm/m	60 m/min
Y (width)	0.01 mm/m	0.05 mm/m	60 m/min
Z (height)	0.01 mm/m	0.05 mm/m	50 m/min
A (1st rotation)	0.0002°	0.002°	9,000/min
C (2nd rotation)	0.0002°	0.002°	9,000/min

치를 동시에 장착하는 것으로 3중구조의 특성을 가지게 되고, Table 4와 같은 크기로 설계하였다. 엔진의 진동에 의한 충분한 내구성을 지녀야 하며 맨 밑에 워터젯 추진기관을 설치하여 엔진부와 워터젯 부의 경계를 두어 충분한 방수처리를 하였다. 엔진과 워터젯을 고정하는 하부는 일체형 이며 중간에 스킵 타입의 중통 부분이 있고 상부에는 개폐식 뚜껑이 형성되어있다. 뚜껑과 바닥 베이스는 외부와 내부의 2벌식으로 구성이 되어져 있다.

몰드의 기본재료는 백색폼(EPS: expanded polystyrene)을 사용하였으며, 5축 가공기는 Table 5와 같은 제원의 몰드 가공용 MCT 장비를 사용하여, Table 6과 같은 조건으로 가공하였다. 백색폼의 황삭가공에서는 4각의 EPS 형태를 최소 35 mm 단위로 가공하며 중삭 가공여유를 주어서 가공하였고, 가공이 완료된 백색폼은 베이스 몰드로서 EPS 표면에 에폭시 수지를 20 mm 이상 핸드 레이업 방식으로 적층 하였다. 에폭시 수지는 상온 경화형으로 베이스와 경화제를 1:1로 반죽하여 사용하였으며 핸드 레이업 방식의 적층이후 2일 정도 상온경화를 완료하여 재가공하였다.

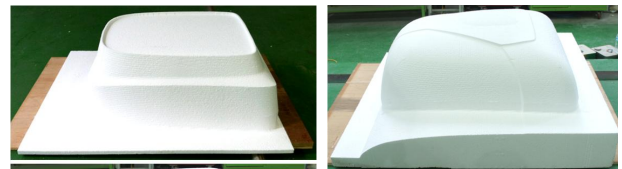
에폭시 수지의 가공조건은 EPS 가공과 같이 황삭가공을 먼저 진행하고 5 mm정도의 여유를 두고 정삭가공을 하여 마무리 하였다. 가공 완료된 수지 몰드는 퍼티 작업과 폴리싱 작업을 병행하여 제작 완료되었으며 플러그 몰드 제작을 위하여 위에 겔코트 도장을

Table 6 Process conditions of surface cutting

Item	Rough cutting	Semi-finishing	Epoxy resin
Tool	∅40 Flat endmill	∅25 Ball endmill	∅25 Ball endmill
Spindle	4500	3500	4500
Feed	8000	8000	5000
Ad	80 mm	5 mm	0.8 mm
Rd	35 mm	10 mm	0.8 mm
Cut	Z-level profile	zigzag	zigzag



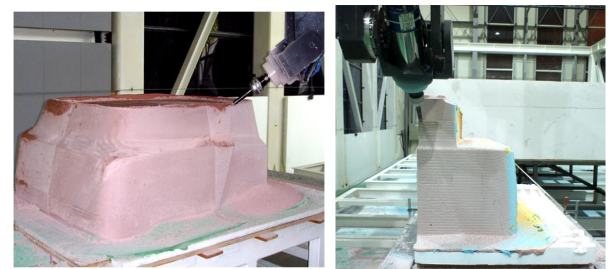
(a) rough cutting



(b) semi-finishing



(c) epoxy resin laminate



(d) epoxy resin cutting



(e) final mold shapes

Fig. 8 Process of prototype casing mold

하여 완료하였다. 이후 제작 완료된 몰드 형상을 통하여 FRP 섬유와 수지를 적층하여 일체형 케이스를 제작 하였다. Fig. 8은 일체형 케이스의 몰드 제작과정을 나타내고 있다.

### 5. 일체형 워터제트 시험선 개발

최종 개발된 150 마력급 일체형 소형워터제트 추진시스템을 장착한 보트는 Fig. 9와 같이 부유식 워터제트를 개발하였고, Fig. 10과 같은 형태의 소형선박이 개발되었다. 일체형 케이스의 핵심 장치는 엔진과 워터제트 추진기관의 연결 구성이며, 엔진과 워터제트의 연결은 벨트타입으로 구성하였다. 해수열교환기와 엔진 컨트롤용 ECU 장치가 적용되었다.

조립순서는 육상에서 마운트한 자리를 기준으로 하여 워터제트 추진기관을 바다에 고정하고 볼팅 처리 후 실패를 최대한 중점으로 고정하였다. 이후 엔진을 장착하고 엔진의 인터쿨러 장치와 해수

냉각장치를 장착하였으며, 엔진의 연소가스는 워터제트 장치의 옆 라인으로 물과 함께 배출되도록 하였다.

엔진의 컨트롤방식은 내부의 전기장치와 외부에 기판을 따로 설치하여 연결하였으며 배터리와 연료라인을 밖으로 연결토록 하였다. 엔진의 컨트롤 기판에서는 운행 시 엔진회전수와 볼트게이지, 그리고 엔진내부의 온도와 오일 압력을 나타내도록 구성하였다.

엔진회전수의 조절과 운영은 기계식 케이블을 최대한 활용하였으며, 후미의 베인 버킷의 움직임도 케이블 타입으로 구성하였다. 개발된 일체형 워터제트 추진시스템을 최종 시험하기 위해 적용한 선체는 Table 7과 같은 제원의 고속단정으로 많이 사용되는 립보트(RIB: rigid inflatable boat)를 채택하였다.

립보트는 해상용으로 외부에는 고무튜브를 가지고 있으며 내부의 트랩섬 재질은 FRP로 구성되어서 강한 내구성으로 인하여 고하중의 엔진을 장착하여도 무리 없는 선체구조를 가지고 있다.

### 6. 실패역 운항시험

실패역 운항은 Fig. 11과 같이 창원시 진해구 이동항에서 진행이 되었으며 워터제트 추진기관의 신뢰성 확보를 목적으로 최대속도 운항, 정속 운항 등 내구성 파악을 위해 장시간 운항 등 다양한 조건에서 진행하였다.

엔진회전수 변화 대비 속도를 기준치로 삼았으며 엔진 회전수 3,600 rpm에서 최대 22 knot의 속도를 기록하였다. 실제 엔진의 가혹조건인 최대 회전수 3,500 rpm 이상에서 최대 1시간 이상 운항하였으며 엔진의 진동과 워터제트 추진기관의 실험전후 내구성의 변화가 관찰 되지 않았다.

시험선의 무게와 혈의 형상 등 많은 부분에서 부하가 발생하였으

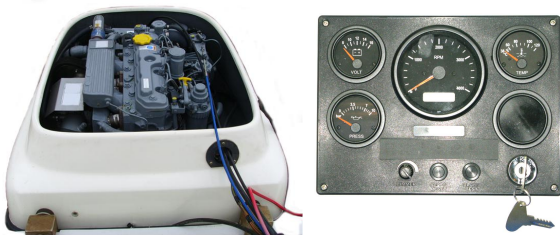


Fig. 9 Installation of final prototype water-jet propulsion



Fig. 10 Development of prototype water-jet propulsion boat

Table 7 Specifications of rigid inflatable boat (RIB)

Item	Specifications
Overall length	8,500 mm
Overall width	2,900 mm
Inner length	5,900 mm
Inner width	1,600 mm
Tube diameter	500 mm (Front)/650 mm (Rear)
Load weight	1,500 kg
Build weight	1,346 kg
Passenger	15



Fig. 11 Field test of prototype water-jet

나 고속선회, 전진, 후진 등 다양한 퍼포먼스에서 엔진과 워터젯 추진기관의 별다른 부하와 오동작 없이 정상작동을 하였다.

워터젯의 실험값과 실제 운항시의 차이는 선체의 무게에 의한 부하량이 시험치보다 많았으며 디젤엔진의 특성상 3,700 rpm 이상 대역에서 회전을 하지 못하는 관계로 더 이상의 속도에는 한계가 있음을 알 수 있었다

디젤엔진의 터보차저(turbocharger) 특성으로 일정구간이상의 회전은 자체 부하량과 엔진의 마력에 의하여 더 많은 토크를 발생하지 못하였으나 향후 터보차저의 한 단계 업그레이드로 인하여 흡배기 조절만으로 40 마력 이상은 상승할 것으로 예상이 되며 그럴 경우 현재 속도대비 24 knot 이상의 운항속도를 가질 것으로 예상된다.

## 7. 결론

국내 소형선박에 적용하기 위한 150 마력급 Outboard형 소형 워터젯 추진기관을 개발하였고, 육상실험과 해상실험을 통해 추진기관으로서 가능성을 확인하였다.

(1) 워터젯 추진기관의 개발은 각각의 부품에 대한 설계-제작-검사의 과정을 거쳐 최종 완성하였으며, 일체형 시스템으로 개발하기 위해 엔진과 워터젯을 탑재할 수 있도록 플러그 몰드를 제작한 후 FRP를 사용하여 케이스를 개발하였다.

(2) 육상 시험 풀에서는 선체의 이동 없이 워터젯의 펌프 특성을 확인한 결과 3,500 rpm에서 최대 37 m/s의 유속과 0.29 m<sup>3</sup>/s의 유량을 배출할 수 있는 성능을 확보하였다.

(3) 일체형 케이스 내부에 열교환기 및 ECU 등 마린엔지니어링된 엔진과 워터젯을 상하로 배치한 후 벨트 구동을 통해 동력을 전달할 수 있게 개발하였다.

(4) 실제 선박에 설치하고 국내 연안에서 시험 시 선체무게와 엔진 등 기타 부수적인 무게가 대략 14.7 kN(1.5 ton)이었으며, 이 상태에서 엔진 회전수 3,600 rpm에서 최대 시속 22 knot의 운항속도를 기록하였으나 그 이상 엔진 회전수는 엔진특성 상 한계가 있었다.

## 후 기

본 논문이 완성되기까지 아낌없는 기술적 자문과 격려해주신 경인테크 대표님 및 관계자에게 감사드립니다.

## References

- [1] Lee, Y. H., Kim, C. S., Choi, M. S., 1991, Water-jet Propulsion, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 15:2 126-139.
- [2] Ahn, J. W., Kim, K. S., Park, Y. H., Kim, K. Y., 2004, Development of Stand-alone Performance Test System for an Intake-diffuser of the Waterjet Propulsion, Journal of Naval Architects of Korea, 41:6 15-23.
- [3] Kim, M. C., Chun, H. W., Park, W. K., Byun, T. Y., Kim, J. H., Suh, S. B., 2005, Design and Analysis for the POD Type Waterjet System, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 42:3 290-298.
- [4] Kim, M. C., Chun, H. H., 2007, Experimental Investigation into the Performance of the Axial-Flow-Type Waterjet according to the Variation of Impeller Tip Clearance, Journal of the Ocean Engineering, 34:2 275-283.
- [5] Jeong, j. W., Lee, B. S., Kang, B. Y., Han, G. S., Suh, S. B., 2009, Study of Laminating Strategy for FRP Hull Using Resin Infusion Simulation, Journal of Ocean Engineering and Technology, 23:2 98-103.
- [6] Yi, C. S., Jeong, J. H., Lee, J. S., Yun, J. H., 2012, A Numerical Analysis on Flow Characteristics of 200HP Grade Water Jet for Small Ship, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 21:1 150-155.
- [7] Yi, C. S., Lee, C. W., 2014, The Development of Small Water-jet Propulsion for 150Hp Grade Inboard Type, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 38:3 246-252.