



Received: 2023/12/04
Revised: 2023/12/14
Accepted: 2023/12/25
Published: 2023/12/31

***Corresponding Author:**

Sanghyun Yoon

Research Institute of Ships Engineering, ENS ENG
192, Jungang-daero, Dong-gu, Busan, 48821,
Republic of Korea

Tel: +82-51-462-6157

Fax: +82-51-466-6156

E-mail: shyoon@snseng.co.kr

저수심 운용을 위한 소형 고속선박 추진기에 대한 고찰

A Study on Propulsor for the Small High Speed Boat Operating in Low Water Depths

윤상현^{1*}, 서관희², 이성원¹

¹에스엔에스이엔지(주) 선박연구소 수석연구원

²에스엔에스이엔지(주) 함정사업본부 본부장

Sanghyun Yoon^{1*}, Kwanhee Seo², Sungwon Lee¹

¹Principal research engineer, Research Institute of Ships Engineering, ENS ENG

²Executive director, Naval Business Department, ENS ENG

Abstract

본 논문에서는 저수심 구역 운항 시 추진기 손상 및 해상 부유물 걸림이 최소화될 수 있는 소형 고속선박들의 추진기에 대한 연구를 수행하였다. 검토대상 추진기들의 일반적인 특징은 정성적인 평가를 하였고, 저수심 운용성을 고려한 항해가능 수심은 일반배치를 통한 정량적인 검토를 수행하였다. 또한 선박의 기본적인 성능인 추진기별 속력성능 측면은 전산유체역학(CFD)을 통하여 저항을 해석한 후, 추진기별 추진효율을 적용하여 정량적인 속력 대 소요마력을 확인하였으며 추진기별 정성적 측면과 정량적 측면을 종합정리하여 저수심 운용을 위한 최적의 대안 추진기를 제시하였다.

In this paper, a study was conducted on the propellers of small high-speed ships that can minimize damage to the propellers and jamming of floating objects at sea when operating in low-water areas. The general characteristics of the propellers subject to review were qualitatively evaluated, and the navigable water depth considering low-water operability was quantitatively reviewed through general arrangement. In addition, the speed performance of each propeller, which is the basic performance of the ship, was analyzed for resistance through computational fluid dynamics (CFD), and then the propulsion efficiency for each propeller was applied to confirm the quantitative speed vs. horsepower required. Qualitative and quantitative aspects for each propeller were examined. was comprehensively summarized and presented as an optimal alternative propulsion device for low-water operation.

Keywords

저수심(Low Water Depth),
터널 프로펠러(Tunnel Propeller),
덕트 프로펠러(Duct Propeller),
수면 관통형 프로펠러(SPP),
워터제트(Water Jet)

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 한국해군과학기술회
동계학술대회 발표 논문임.

1. 서론

수심이 낮은 저수심 구역에서 임무를 수행하는 소형 고속선박들은 운항 시 저수심 해저 돌출물에 대한 추진기 손상 및 해상/해저 부유물의 추진기 걸림으로 인한 추진기 고장에 노출되어 있다. 본 연구에서는 현재 저수심 구역에서 활동 중인 30 kts급 소형 연안 고속선박의 추진기 운용 시 문제점을 살펴보고 문제해결을 위하여 저수심 구역에서 활동 중인 국내외 소형 고속선박들이 사용 중인 추진기에 대한 특성연구를 통하여 저수심 운용 시 대안이 될 수 있는 추진기에 대하여 고찰하였다.

2. 저수심 구역 운항 시 문제점

조수간만의 차이가 큰 서해지역의 경우 많은 섬들이 위치하고 있고 섬들 주변의 해역에는 저수심 구역인 간석지가 많이 분포하고 있다. 해양수산부 국립해양조사원 전자해도 서비스(www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do)에서 확인한 서해지역의 경우, Fig. 1에서와 같이 간조 시 수심 4 m - 5 m 이하의 해역(초록색 지역)이 많이 분포하고 있어 소형 선박들의 임무 수행 시 수심 문제로 제한을 받을 수 있는 구역이다.

Fig. 2와 같이 조차가 큰 해역의 저수심 구역에서 운항하는 선박들은 수심변동에 따른 추진기 손상에 민감하게 반응하여야 한다. 필

요시에는 과도한 저수심 구역에서도 임무를 수행해야 하며 임무수행 중에는 썰물의 영향으로 해저에 좌주되는 상황이 발생할 수 있어 이로 인한 추진기 손상을 최소화할 수 있는 방안도 추진기 선정 시 고려될 수 있어야 한다. 그리고 Fig. 2에서와 같이 이러한 저수심 구역을 포함한 연안에서는 수상과 수중에 바닷조개와 그물 등 다수의 부유물이 해상에 존재하므로 항해하는 소형 선박들의 추진기가 부유물에 의하여 손상을 입는 사례가 빈번하게 발생하고 있다.

또한 국내에서 운용 중인 많은 소형 연안고속선박들은 워터제트(water jet) 추진기를 사용하고 있다. 특히 서해지역의 경우 상대적으로 해수온도가 높고 저수심 구역이 넓게 분포되어 있으므로 이 지역에서 임무수행 중인 소형 연안고속선박들은 Fig. 3와 같이 해양생성물에 의한 속력저하 문제 및 해수유입관과 추진

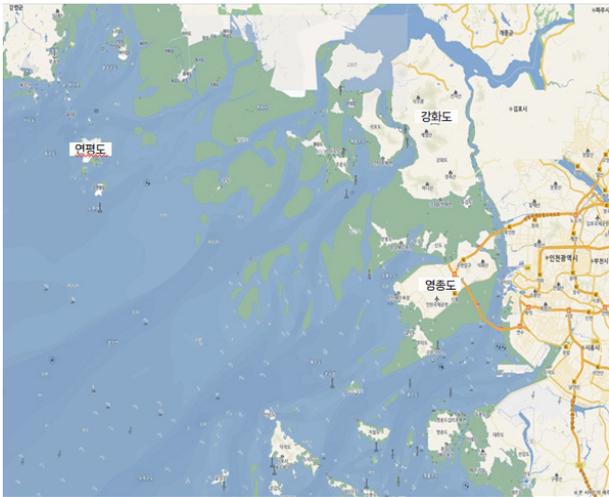


Fig. 1. 서해 저수심 구역



Fig. 2. 저수심 구역 선박과 추진기 이물질 걸림



Fig. 3. 해양생성물 부착 및 스테이터 부식

기 스테이터의 부식 등도 발생하고 있는 것으로 확인되고 있다. 이에 고속선박으로서의 기본적인 성능저하 없이 저수심 운용 시 대안이 될 수 있는 추진기에 대한 검토가 필요하다.

3. 실적선박 추진기 종류 및 특징

연안에서 운용 중인 국내·외 소형 고속선박들의 추진기 종류를 Table 1과 같이 살펴본 결과, 실(實) 해역 운용 중인 실적선박들은 최대속력을 고려하여 water jet, SPP, duct propeller, tunnel propeller, FPP 등의 추진기를 사용하고 있다. 본 연구에서는 30노트급 소형 선박에 적합한 추진기 검토를 위하여 Table 1에서 언급된 국내·외 실적선박들이 사용 중인 추진기를 검토하기로 한다.

Table 1. 국내·외 고속선박 추진기

선박	형상	국적	최대속력 (kts)	추진기
YUB-X		대한민국	30	Water jet
Shaldag MK V		필리핀	40	Water jet
MK-VI		미국	45	Water jet
Super Dvora		이스라엘	45	SPP
Rodman130		스페인	27	Duct prop.
Gurza-M		우크라이나	25	Tunnel prop.
Mustaed		미얀마	45	SPP
P-311		이라크	30	FPP

3.1 FPP(fixed pitch propeller)

FPP는 최대 30 kts 속력을 가지는 모든 일반 선박 및 함정에 가장 많이 사용되고 있는 추진기이다. 그러나 30 kts 이상의 속력을 가지는 소형 고속선박에는 고속구간에서 높은 RPM에 의한 공동현상(cavitation) 및 추진기 직경 제한으로 근래에는 사용 빈도가 낮은 추진기이다. 특히 소형 고속선박에 높은 추진효율을 위하여 추진기 직경을 크게 할 경우, 기선하부로 추진기 돌출이 증가하여 항해흡수가 깊어지게 되는 점과 추진기 보호를 위한 장치가 없는 단점이 있다.

또한 수상·수중 부유물에 의한 추진기 걸림현상이 빈번한 편이며 수리를 위한 기간 및 난이도는 유리한 편이다. 가장 보편화된 추진기이므로 설치를 위한 획득비는 타 추진기 대비 가장 저렴하다.

FPP는 strut/rudder 등의 부가물의 영향과 선형특성상 선미부의 부력이 작아 고속 기동 시 저항성능이 다소 불리한 편이며 추진효율은 대략 0.6 정도 구간에서 형성된다. 조종성능은 특별한 유불리 특성이 없는 보편적 수준이다.



Fig. 4. FPP(좌) 및 로프결림 (우)

3.2 Tunnel propeller

Tunnel propeller는 일반적인 프로펠러 설치방식과 달리, 추진기가 위치되는 선미선체 하부에 tunnel을 형성하여 tunnel 안쪽에 프로펠러를 위치시켜 설치하는 추진기이다.

요구속력 달성을 위하여 필요한 추진효율을 가지는 최소 직경의 프로펠러 설치 시 항해흡수가 과도하게 깊어질 경우에 대안이 될 수 있다. Tunnel이 프로펠러를 보호하고 있지만 프로펠러 아래는 개방되어 완전한 프로펠러 보호는 불가능하다. Tunnel propeller는 tunnel에 상대적으로 높은 압력장 영역이 형성되므로 프로펠러가 위치할 경우 공동현상이 지

연될 수 있는 장점이 있으므로 tip clearance도 상대적으로 작게 가져갈 수 있다[1]. 그러나 너무 깊은 tunnel 생성 시 수면으로부터 tunnel까지의 거리가 낮아 전체적인 공동현상은 보통 수준일 것으로 보여진다. 항해흡수 측면에서 tunnel을 적용한 국내실적으로는 well dock의 운용성 때문에 추진기 직경에 제한을 받는 국내 대형함정인 LPH와 LST-II가 있으며, 소형 선박에 사용된 사례는 우크라이나에서 운용 중인 Gurza-M(Fig. 5 참조)이 있다.

Gurza-M은 프로펠러가 tunnel 내부로 완전히 들어가 있어 기선하부의 추진기 돌출부분이 전혀 없는 것으로 보아, 저수심 운용을 위하여 tunnel propeller를 택한 것으로 판단된다. 그러나 저수심 운용성을 위해 프로펠러 직경이 작은 tunnel propeller를 적용하는 경우, 요구속력 대비 추력이 작아지므로 목표속력 달성을 위한 추력이 부족할 때 축계 개수가 증가하여 기관실과 타기실의 배치성이 나빠지게 된다.

Tunnel propeller는 고속에서 선미부 tunnel의 영향으로 선체저항이 증가하게 되며 조종성능은 일반 FPP 방식과 큰 차이가 없을 것으로 보여지나 tunnel 내에서 타에 가해지는 프로펠러 후류분포가 일반 FPP 보다는 집중되므로 조종성능에 있어 다소 유리하게 작용될 수는 있을 것으로 판단된다. 선저 아래로 추진기 돌출 정도에 따라 차이가 있겠지만 수상 및 수중에 존재하는 부유물 걸림 빈도는 보통 수준일 것으로 보여지며 수리를 위한 기간 및 난이도는 FPP와 같이 유리한 편일 것으로 판단된다. 설치를 위한 획득비는 FPP와 같이 저렴한 추진기로 볼 수 있다.



Fig. 5. Gurza-M(우크라이나)

3.3 Duct propeller

Duct propeller는 독일 Voith 사에서 생산·공급하는 고속선박(30 kts급)에 적용되는 추진기이며 항해흡수가 낮아 저수심 구역에서 유리한 추진기이다. 국

내도입 실적이 없으며 linear jet이라고도 불린다. 고속형 duct를 사용하여 저속에서 높은 추력을 발생시키는 Kort nozzle과는 다르게 감속형 duct를 사용하여 30 kts까지 높은 추진효율을 낼 수 있고 duct 내부의 높은 압력장으로 공동현상을 지연시킬 수 있다.

Tunnel propeller와 같이 선미 하부에 tunnel을 형성하여 설치되며, 항력이 작은 duct를 사용하고 추진기 후부에 회전유동을 직선유동으로 변환시키는 스테이터를 부착하여 높은 추력과 추진효율을 낼 수 있다. 추진효율은 저속영역뿐만 아니라 고속 영역에서 대략 0.6 이상을 보이는 것으로 확인된다.

선미부의 tunnel 형성으로 고속 기동 시 선체저항이 증가하게 되나 strut이 없기 때문에 고속 기동 시 부가물 저항 비중이 낮으며 조종성능은 FPP 수준으로 판단된다. 추진기 보호 측면에서는 duct 안에 프로펠러가 설치되어 있고 전체적인 추진기가 기선하부로 내려오는 정도가 최소화될 수 있으나 추진기 자체가 선체 외부에 노출되어 있는 점을 고려할 때 외부요소로부터 추진기 보호는 불완전해 보인다.

수상 및 수중에 분포한 이물질 걸림 빈도는 tunnel propeller 수준일 것으로 보여지며 복잡한 추진시스템이 아니므로 수리 기간 및 수리 난이도 측면에서는 유리할 것으로 보여진다. 추진기 공급사에서 확인된 획득비는 FPP보다 다소 높은 수준이다.

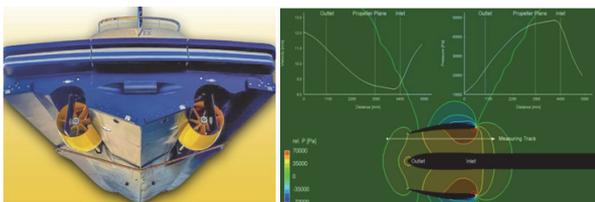


Fig. 6. Duct propeller 형상

3.4 SPP(surface piercing propeller)

FPP 추진기와는 달리 고속 기동 시 프로펠러가 수면에 반쯤 잠긴 상태로 작동하면서 추력을 발생시키는 추진기이다. FPP 추진기는 공동현상에 영향을 많이 받는 반면, SPP 추진기는 단면이 썸머모양인 블레이드가 회전하면서 대기공기층을 물고 입수하게 되어 수면 하에서는 블레이드를 둘러싼 대기공기층의 영향으로 공동현상으로부터 자유로운 장점이 있다. 또한 프로펠러 회전에 따른 유체를 밀어내는 방식

으로 추력을 발생시키게 되며 기본 RPM이 FPP보다 높은 편이다.

선박의 트랜섬이 드라이(dry) 상태가 되는 고속 기동 시 가장 높은 추진효율을 발생시키며 프로펠러가 수면 하부로 완전히 잠기게 되는 경우는 추력발생을 위한 RPM이 높아져 추진효율이 낮은 것으로 알려져 있다. 또한, SPP는 선박의 트랜섬 후방에 부착되어 운용되므로 후진 시 후진추력이 트랜섬에 영향을 주게 되어 긴급정지 성능이 저하될 수 있다[2].

SPP는 water jet 추진기와 같이 조종성능 측면에서 유리한 벡터 추력방식을 사용하고 있고 조향을 위한 좌우 회전각이 $\pm 20^\circ$ 인 점을 고려할 때 선회성능 관점에서의 조종성능은 불리할 것으로 예상되나, 다수의 국외 실적선박들이 사용 중인 점을 고려할 때 보통 수준의 조종성능을 가질 것으로 판단된다. 또한 저속구간 및 후진 시 각도 조절을 통한 성능저하를 회피할 수 있도록 상하 방향으로 대략 $\pm 8^\circ$ 씩 조향각을 두고 있으나, 성능저하 개선과 관련한 정량적인 자료확인이 어려운 점도 있는 실정이다.

SPP는 선박의 트랜섬에 설치되어 기선 하부로 추진기 돌출이 최소화되어 저수심 운용 시 용이하나 프로펠러가 외부에 완전히 노출되어 있으므로 외부요인으로부터의 추진기 보호 측면과 수상 및 수중에 분포된 이물질 걸림 빈도는 보통수준으로 보인다.

수리 기간 및 수리 난이도 측면에서는 시스템이 단순하며 상하 각도 조절이 가능하므로 이물질 제거를 포함한 유지보수는 어렵지 않은 것으로 판단되며, 추진기 공급업체로부터 확인된 획득비는 duct propeller 수준이다.



Fig. 7. SPP 형상

3.5 Water jet

Water jet 추진기는 국내 대부분의 중소형 고속선박들이 사용 중이며 성능적으로도 검증된 추진기이다. 선체 외부에 부착되는 별도의 부가물이 없어 저항성능 측면에서 유리하며 조종성능이 우수한 것으로 알려

져 있다. 40노트 이상의 속력에서 추진효율이 높은 편이며, 저속구간에서는 임펠러와 유체유입구 간의 높이차로 인하여 추력 발생을 위한 높은 RPM이 요구되므로 상대적으로 추진효율이 낮은 편이다.

장비별 제한치는 있으나 FPP 대비 공동현상에도 유리한 추진기이며, 추력을 발생시키는 임펠러가 선체 내부에 설치되고 추력 토출구인 노즐은 트랜섬에 부착되어 추진시스템이 기선하부로 전혀 내려오지 않아 추진기 보호에 유리하며 해수유입구에 grid를 설치하여 수상·수중 이물질 걸림을 최소화할 수 있다. 그러나 Fig. 8 우측 그림과 같이 로프 등의 이물질이 grid를 통과하여 추진축에 걸림 현상이 발생할 경우 간혹 이를 제거하기 위한 수리 기간 및 공정난이도가 타 추진기 대비 높은 것으로 알려져 있어 수리 기간 및 난이도는 보통 수준일 것으로 보인다. 추진기 공급사에서 확인된 획득비의 경우, 타 추진기 대비 2배 이상의 고가장비이므로 불리한 편이다.



Fig. 8. Water jet

4. 추진기별 저수심 운용성 검토

이미 알려진 사항을 토대로 검토 대상 추진기별 정성적인 성능과 특징을 살펴보았으며, 적용 대상 기준 선형에 추진기별로 적용하여 설치성을 고려한 저수심 운용성에 대하여 살펴보도록 한다.

추진기 적용을 위한 선형 제원은 Table 3와 같다.

Table 3. 검토대상 선형의 주요 제원

선박	길이 (m)	폭 (m)	깊이 (m)	흘수 (m)	배수량 (ton)
FPP				1.34	
Tunnel propeller				1.34	
Duct propeller	29.0	6.0	3.0	1.37	100
SPP				1.30	
Water jet				1.30	

항만 및 어항 설계기준 및 해설[3]에서 제시하는 저수심 구역 운항을 하기 위하여 필요한 흘수를 제외한 여유수심은 2.07 m로 확인된다.

$$H = Ds + Dr + Dt + Dw \tag{1}$$

여기서, H : 여유수심,

Ds : 선박항행 시 침하깊이(8노트 시 0.5 m)

Dr : 해저 토질조건에 따른 여유수심
(모래: 0.3 m, 암반: 0.6 m)

Dt : 선박선회에 따른 여유수심
(선장의 1/1000 - 1/2000)

Dw : 파고에 의한 여유수심(파고의 1/2)

4.1 FPP

FPP 추진기의 설치성 검토를 위한 추진기 기본제원은 Table 4와 같다. 0.6 정도의 추진효율을 위한 프로펠러 제원을 선정하였고, back cavity는 15% 이하를 고려하였으며, 제원선정을 위한 프로그램은 'NavCad'를 사용하였다.

Table 4. FPP 제원

Series	No. of blade	Diameter (m)	P/D	A_e/A_o
Gawn	3	1.3	1.19	1.20

기준선형에 FPP 설치를 위한 개략 일반배치를 수행한 결과, Fig. 9에서와 같이 tip clearance를 고려할 때 추진기가 기선(base line) 하부로 0.92 m 내려오는 것으로 확인된다. 만재흘수인 1.34 m를 고려할 때, 항해흘수는 2.26 m가 되고 여유수심까지 고려하면 FPP 추진기 적용 시 운용이 가능한 수심은 4.33 m로 확인된다.

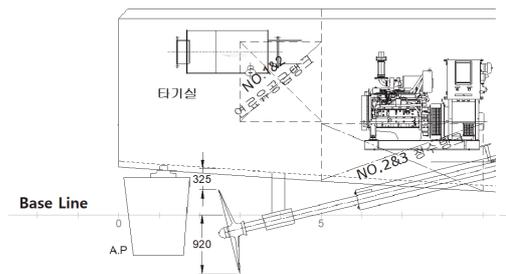


Fig. 9. FPP 설치성

Table 5. FPP의 운용 가능 수심

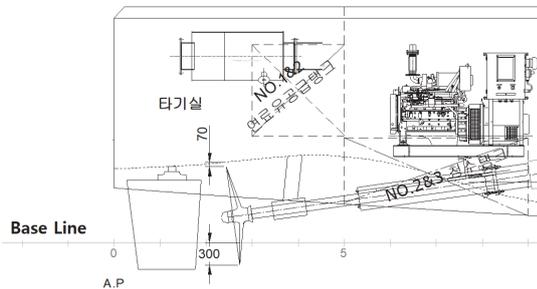
기선하 추진기 돌출 (m)	만재흘수 (m)	항해흘수 (m)	여유수심 (m)	운용 가능 수심 (m)
0.92	1.34	2.26	2.07	4.33

4.2 Tunnel propeller

Tunnel propeller를 고려하기 위한 프로펠러 제원은 FPP와 동일하게 적용하였다. 저수심 운용성을 고려하기 위해 프로펠러는 타기실 배치에 문제가 없도록 최대한 tunnel 안으로 들어갈 수 있도록 하였다.

항해 시 tunnel 내부 고압영역 형성에 따른 공동현상 지연을 감안하여 tip clearance는 프로펠러 직경의 10% 미만까지를 허용하고 있으나[4] 저수심 운용성을 감안하여 5%를 적용하여 배치하였다.

기준선형에 기반하여 tunnel propeller의 개략 배치를 수행한 결과, 추진기는 기선하부로 0.3 m 내려오며 만재흘수와 여유수심을 고려한 운용 가능 수심은 3.71 m로 확인된다.

**Fig. 10.** Tunnel propeller 설치성**Table 6.** Tunnel propeller의 운용 가능 수심

기선하 추진기 돌출 (m)	만재흘수 (m)	항해흘수 (m)	여유수심 (m)	운용 가능 수심 (m)
0.3	1.34	1.64	2.07	3.71

4.3 Duct propeller

Duct propeller 추진기는 예상되는 속력별 추력에 대하여 국내외 실적을 보유한 공급업체로부터 최적 추진기 도면을 제공받아 배치하였다.

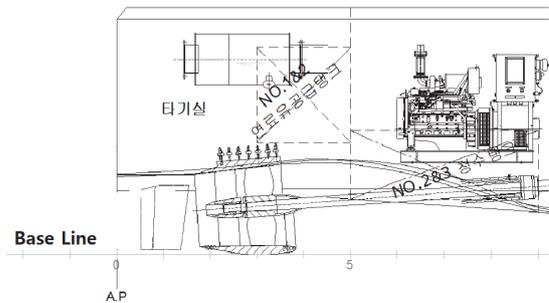
설치를 위한 선체 tunnel의 형상은 추진기 성능에

영향을 주게 되므로 공급업체로부터 설치성과 유동을 고려한 최적의 tunnel 형상정보를 제공받아 선형설계 시 반영하였다.

Table 7. Duct propeller 제원

No. of blade	Duct diameter (m)	Impeller diameter (m)
5	1.3	0.97

기준선형에 duct propeller 설치를 위한 개략 배치를 수행한 결과, 추진기가 기선하부로 돌출되는 부분은 없으며 만재흘수와 여유수심을 고려한 운용 가능 수심은 3.44 m로 확인된다.

**Fig. 11.** Duct propeller 설치성**Table 8.** Duct propeller의 운용 가능 수심

기선하 추진기 돌출 (m)	만재흘수 (m)	항해흘수 (m)	여유수심 (m)	운용 가능 수심 (m)
0	1.37	1.37	2.07	3.44

4.4 SPP

SPP 추진기는 국내외 실적을 보유한 공급업체로부터 추진기 도면을 제공받아 공급업체에서 권고하는 6°의 트랜섬 각도를 반영하여 배치하였다. SPP는 세팅된 상태에서 프로펠러가 기선하부로 0.16 m 내려오게 되나 저수심 구역의 주변 환경상 고속항주 빈도는 낮을 것으로 보이며, 저속으로 항해 시 추력향상을 위하여 추진기를 위쪽 방향으로 들게 되므로 실질적인 기선하부 추진기 돌출은 없을 것으로 보인다. 그러나 추진기 세팅 조건에서 확인된 SPP 추진기의 운용 가능 수심은 3.53 m로 확인되고 있다.

Table 9. SPP 제원

No. of blade	Diameter (m)
5	1.37

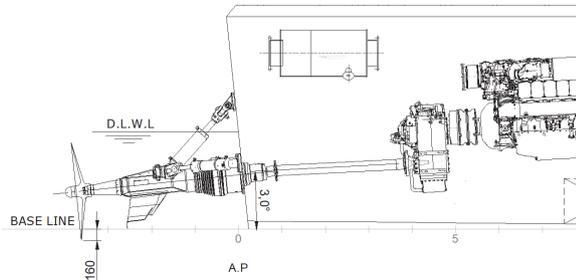


Fig. 12. SPP 설치성

Table 10. SPP의 운용 가능 수심

기선하 추진기 돌출 (m)	만재흘수 (m)	항해흘수 (m)	여유수심 (m)	운용 가능 수심 (m)
0.16	1.30	1.46	2.07	3.53

4.5 Water jet

Water jet 추진기는 국내외 실적을 보유한 공급업체로부터 도면을 제공받아 개략 배치를 수행하였으며 다른 검토대상 추진기와 동일하게 예상되는 속도별 추력에 적합한 추진기 모델을 적용하였다.

배치성 검토를 수행한 결과, 기선하부로 내려오는 부분은 없으며 만재흘수와 여유수심을 고려한 운용 가능 수심은 3.37 m로 확인된다.

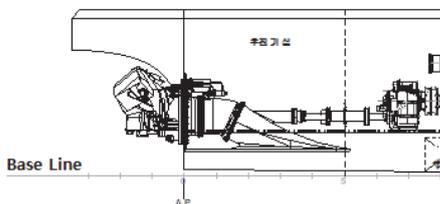


Fig. 13. Water jet 설치성

Table 11. Water jet의 제원

기선하 추진기 돌출 (m)	만재흘수 (m)	항해흘수 (m)	여유수심 (m)	운용 가능 수심 (m)
0	1.30	1.30	2.07	3.37

4.6 저수심 운용성 검토 결과

수심 4 m-5 m 이하의 저수심 구역에서 운용 가능한 소형 고속선박 추진기에 대한 배치성 검토를 수행한 결과, FPP 추진기는 기선하부 추진기 돌출이 과도하여 만재흘수를 고려한 운용수심이 깊으므로 추진기 보호 측면에서 저수심 운용을 위한 추진기로서는 가장 불리한 것으로 확인된다. 배치성에 따른 운용수심을 고려할 때 추진기 보호 측면에서 저수심 운용성에 적합한 추진기는 tunnel propeller, duct propeller, SPP, water jet으로 보인다.

Table 12. 추진기 보호성 검토결과

선박	추진기 보호
FPP	불리
Tunnel propeller	보통
Duct propeller	보통
SPP	보통
Water jet	유리

5. 저항·추진효율·소요마력 검토

검토 대상 추진기의 설치성이 고려된 각각의 선형에 대하여 저항성능 및 추진효율을 확인하였다. 저항성능은 'Star CCM+'를 통한 CFD 해석을 수행하였고, FPP와 tunnel propeller의 추진효율은 NavCad를 사용하되 tunnel propeller의 공동현상 지연으로 인한 효율변동분은 계열자료에 기반한 효율추정에 어려움이 있으므로 반영하지 않았다.

SPP, duct propeller, water jet 추진기의 추진효율은 CFD를 통해 추정된 저항을 기반으로 추진기 공급업체로부터 제공받은 효율을 적용하였다. 단, 프로펠러 기반의 추진기인 FPP, tunnel propeller, duct propeller, SPP의 선체효율(η_H)와 상대회전효율(η_R)은 모형시험을 통해 확인 가능하므로 본 검토에서는 고려하지 않고 단독효율(η_O)만 고려하였다. 검토를 위한 추진기별 선형의 제원은 Table 3에 나타냈다.

5.1 FPP

FPP 선형의 저항성능은 strut과 rudder에 의한 부가물 저항이 고려되어야 하므로 부가물 저항은 속도

별로 차이가 있으나 10 %를 일괄 적용하였다. 추진 효율을 위한 프로펠러 계열은 참수리 고속정과 같은 고속 RPM 선박에 사용되는 Gawn series를 적용하였다.

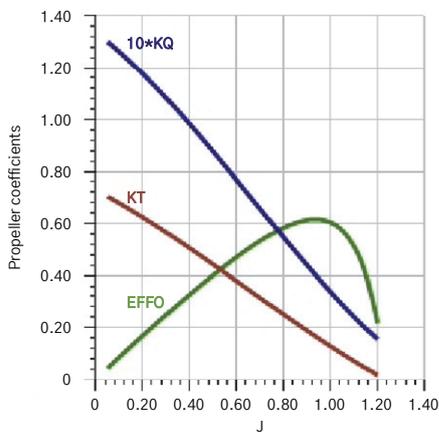


Fig. 14. FPP의 단독성능 곡선(POW)

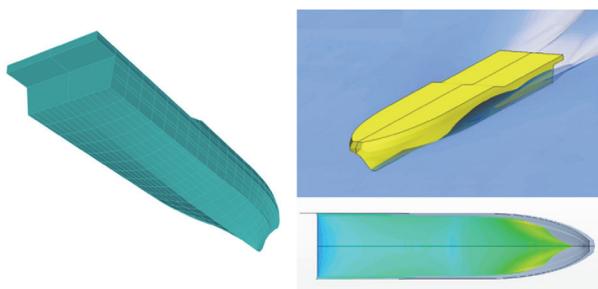


Fig. 15. FPP 선형 및 CFD 해석(30 kts)

Table 13. FPP 추진선형 소요마력 추정결과

V (kts)	EHP (ps)	η_D	BHP (ps)	RPM
15	701	0.602	1,200	433
25	2,209	0.616	3,697	639
30	3,119	0.614	5,236	741
32	3,748	0.613	6,304	789

5.2 Tunnel propeller

Tunnel propeller 선형의 경우는 선미부 tunnel의 영향으로 고속구간 저항이 다소 크게 나타나는 것으로 확인되며 tunnel 쪽에 고압영역이 형성되고 있다.

Strut과 rudder에 의한 부가물 저항은 FPP와 동일한 10 %를 일괄 적용하였다. 추진효율을 위한 프로펠러 계열은 FPP와 동일하게 적용되었다.

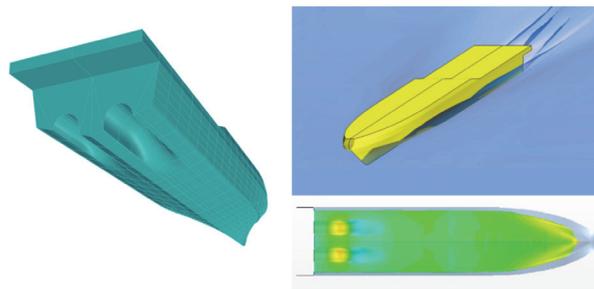


Fig. 16. Tunnel propeller 선형 및 CFD 해석(30 kts)

Table 14. Tunnel propeller 추진선형 소요마력 추정결과

V (kts)	EHP (ps)	η_D	BHP (ps)	RPM
15	703	0.602	1,204	438
25	2,219	0.616	3,714	646
30	3,185	0.615	5,339	749
32	3,828	0.615	6,417	798

5.3 Duct propeller

Duct propeller도 추진기 설치를 위한 tunnel의 영향으로 FPP 대비 저항이 증가되었으나 tunnel의 깊이가 tunnel propeller보다 깊지 않아 tunnel propeller보다는 작은 저항이 확인되고 있다.

부가물 저항은 rudder의 영향성만 고려하여 3 %를 일괄 적용하였다. 추진효율은 추진기 공급업체로부터 제공받은 단독효율(η_O)만 고려되었다.

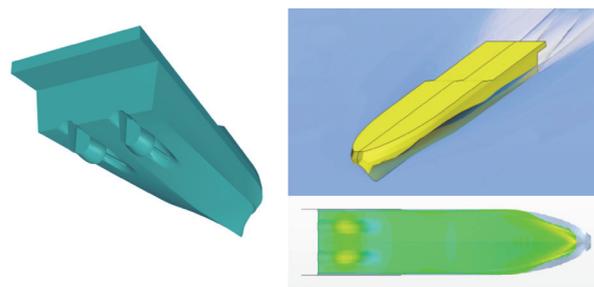


Fig. 17. Duct propeller 선형 및 CFD 해석(30 kts)

Table 15. Duct propeller 추진선형 소요마력 추정결과

V (kts)	EHP (ps)	η_D	BHP (ps)	RPM
15	651	0.617	1,087	333
25	2,121	0.648	3,374	462
30	3,013	0.652	4,765	526
32	3,626	0.652	5,733	559

5.4 SPP & water jet

SPP와 water jet는 추진기 적용을 위한 선형과 제원은 동일하며 그에 따른 저항성능 또한 동일하다. 수면하에 장착되는 strut과 rudder 등의 부가물이 없으므로 타 추진기 대비 저항성능이 우수한 편이다.

추진효율은 추진기별 공급업체로부터 제공받았으며, SPP 추진기의 15노트 추진효율은 알려진 바와 같이 낮은 효율을 보여주고 있다. SPP는 FPP와는 달리고 회전에 따른 추진력으로 추력을 발생시키게 되며 아이들링(idling) 시의 RPM이 높은 편이므로 감속비가 타 추진기 대비 낮은 편이다. 저속구간에서 SPP는 선박의 트랜섬이 드라이(dry) 상태가 되지 않으므로 SPP 자체가 수면에 거의 잠긴 상태가 된다. 이러한 경우, FPP보다 피치비(P/D)가 크고 추진기 날개의 압력차에 따른 추진력 없이 RPM에 따른 추력으로 전진되는 SPP의 경우는 추진기가 완전히 잠긴 저속에서

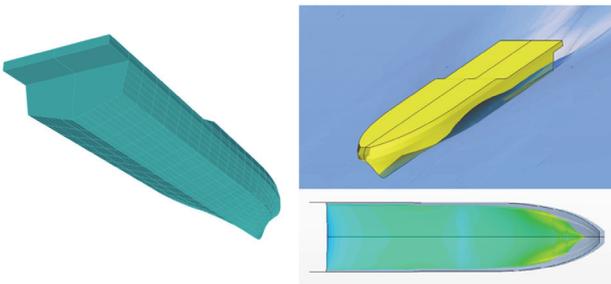


Fig. 18. SPP & waterjet 선형 및 CFD 해석(30 kts)

Table 16. SPP 추진선형 소요마력 추정결과

V (kts)	EHP (ps)	η_D	BHP (ps)	RPM
15	756	0.330	2,360	1,420 (max)
25	1,968	0.560	3,623	
30	2,673	0.620	4,445	
32	3,200	0.620	5,322	

Table 17. Water jet 추진선형 소요마력 추정결과

V (kts)	EHP (ps)	η_D	BHP (ps)	RPM
15	756	0.502	1,552	704
25	1,968	0.586	3,462	926
30	2,673	0.620	4,445	1,005
32	3,200	0.621	5,313	1,053

흡수해야 할 전달마력(DHP)이 일반 FPP 대비 높으므로 추진효율이 낮아지게 된다.

5.5 저항·효율·소요마력 검토 결과

추진기별 선형에 대한 저항성능과 추진효율을 검토한 결과 저항성능은 SPP와 water jet 추진 선형이 가장 유리할 것으로 확인되었다.

추진효율의 경우, 30 kts 이상의 속도 구간에서는 큰 차이가 없으나 duct propeller가 가장 높은 효율을 보여주고 있다. 15노트 저속에서는 SPP 추진기의 효율이 가장 낮은 것으로 확인되고 있으며 duct propeller가 저속구간에서도 가장 높은 효율을 보여주고 있다.

저항과 효율을 종합적으로 고려한 속도성능 측면에서는 30노트 이상의 고속구간과 15노트 저속구간을 모두 고려할 필요가 있다.

최대속력은 특정 속도에서의 소요마력 크기로 유효를 평가할 수 있으나, 저속구간에서는 소요마력 대비 연료소모량을 고려하여야 한다.

Fig. 21에 나타난 추진기별 소요마력 곡선도를 보면 30 kts 이상 고속영역에서는 SPP와 water jet 추진기가 유리한 반면 15노트 저속구간에서는 불리하며, 특히 SPP 추진기가 가장 불리하여 저속구간에서의 연료소모율이 높아 경제성이 좋지 못할 것으로 판단된다. 반면 duct propeller는 저속영역에서의 소요마력이 가장 낮으며 그로 인한 연료소모율을 고려할 때 경제성이 가장 우수한 추진기로 보인다.

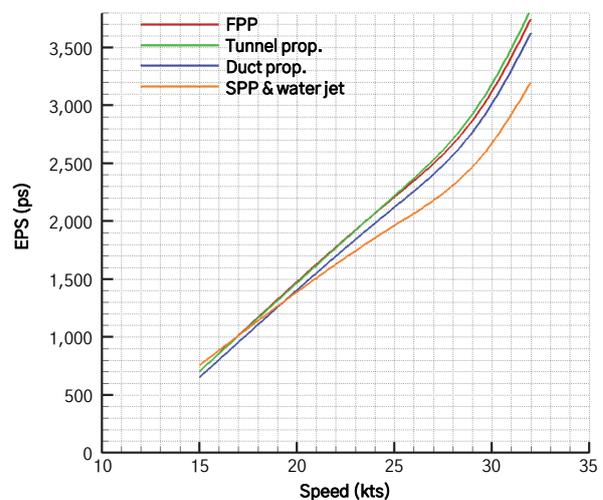


Fig. 19. 추진기 선형별 유효마력(EHP) 곡선

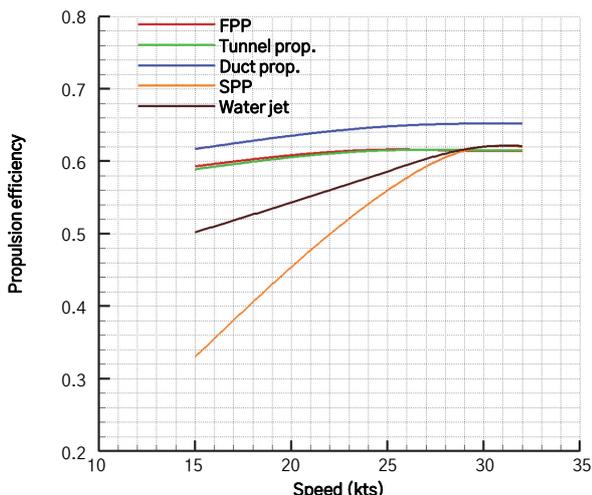


Fig. 20. 추진기별 단독효율(ηO) 곡선

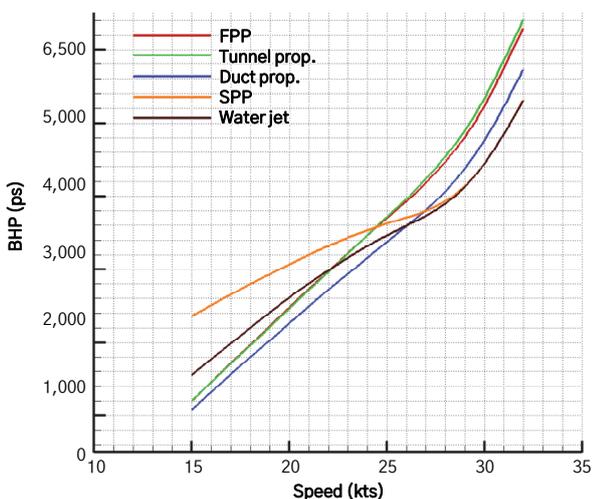


Fig. 21. 추진기별 제동마력(BHP) 곡선

6. 종합평가 결과

저수심 운용성에 적합한 소형 고속선박의 추진기를 확인하기 위하여 검토대상 추진기별 성능 측면, 저수심 운용 측면, 수리 기간 및 난이도, 획득비용을 확인하여 보았으며, 종합적인 평가결과는 Table 18에 나타냈다.

정량적인 평가를 위하여 검토된 항목을 추진기별로 점수화(유리: 3, 보통: 2, 불리: 1)하여 확인한 결과, 소형 연안고속선박으로서의 기본적인 성능을 갖추면서도 저수심 운용성 측면에서 가장 유리한 추진기는 duct propeller와 water jet, 가장 불리한 추진기는 FPP 추진기로 판단된다.

한편, water jet 추진기를 보유한 소형 연안고속선

박의 서해안 저수심 운용 시 해수유입관과 스테이터 부식 및 해양생성물에 의한 속력 저하 등의 사례가 일부 확인되고 있으며 이의 대안으로는 다음의 추진기가 적용 가능한 대안으로 판단된다.

- 감속형 duct propeller: 연료비 및 획득비 절감을 목적으로 용이한 수리 등 원활한 유지보수가 필요한 선박
- SPP: 45 kts 이상의 선박으로 고속의 기동 성능이 필요한 선박
- Tunnel propeller: 획득비 절감과 원활한 유지보수가 필요한 선박

Table 18. 추진기별 성능 종합

구분	FPP	Tunnel prop.	Duct prop.	SPP	Water jet	
성능 측면	속력성능 (30 kts)	불리(1)	불리(1)	보통(2)	유리(3)	유리(3)
	연료소모율 (15 kts)	보통(2)	보통(2)	유리(3)	불리(1)	불리(1)
	조종성능	보통(2)	보통(2)	보통(2)	보통(2)	유리(3)
	공동현상	불리(1)	보통(2)	유리(3)	유리(3)	유리(3)
저수심 운용 측면	추진기 보호	불리(1)	보통(2)	보통(2)	보통(2)	유리(3)
	운용 가능 수심	불리(1)	유리(3)	유리(3)	유리(3)	유리(3)
	이물질 걸림 (수상/수중)	불리(1)	보통(2)	보통(2)	보통(2)	유리(3)
수리 기간/난이도	유리(3)	유리(3)	유리(3)	유리(3)	보통(2)	
획득비용	유리(3)	유리(3)	보통(2)	보통(2)	불리(1)	
종합점수	15	20	22	21	22	

7. 결론

본 연구에서는 최대속력이 30 kts 이하인 소형 고속선박들의 저수심 운용성을 위한 추진기별 특징과 성능을 살펴보고 대안이 될 수 있는 추진기를 살펴 보았다. 추진기별 효율과 속력성능에 대해서는 저항 해석 및 효율접수를 통하여 정량적인 비교검토를 수행하였으며, 운용가능 수심 또한 일반배치를 통한 정량적 검토를 수행하였다. 그러나 추진기 보호측면과 이물질 걸림 그리고 수리기간 및 난이도는 일반적인

정보와 상식적인 측면인 정성적 기준으로 검토되었으므로 이점이 존재할 수 있다. 특히 이물질 걸림 측면은 가능한 범위 내에서 모형시험을 통하여 정량적인 확인이 추가적으로 필요할 것으로 보여진다.

본 연구는 저수심 구역에서 임무수행을 위한 소형 연안고속선박에 적합한 추진기에 대한 연구로서 추후 민군 구분 없이 저수심 구역에서 운항예정인 선박의 설계 시 추진기 선정에 참고가 되었으면 한다.

참고문헌

- [1] Donal L. Blount, "Design of Propeller Tunnels for High Speed Craft."
- [2] Paul Kamen, N.A., "Surface Piercing Propellers," First published in Professional Boatbuilder Magazine.
- [3] 해양수산부, "항만 및 어항 설계기준·해설(상권)," 2017.
- [4] Hydrocomp, "Definition of Propeller Tunnels for PropExpert," A Hydrocomp Technical Report 141.