

## 선박용 추진장치의 개발동향

## Developing Trends of Marine Propulsion System

김 영 주

Y. J. Kim



- 1947년 7월생.
- 한국기계연구원

## 1. 서 론

중대형선박에 해당되는 화물선이나 여객선은 화물이나 여객운송시간을 단축하고 중소형선박에 해당되는 어선은 어획물을 어장에서 공판장이나 시장에 신속하게 운반하여 생선의 신선도를 높이기 위해서 주행속도를 25노트 이상으로 증가시키고 있는 추세이다. 이에 따라 선박 주기관들의 소요동력이 크게 증대되므로 추진효율이 조금이라도 개선된다면 연료비의 절감과 운항시간 단축으로 인한 수익증대 효과는 매우 커지게 되었다. 고속화, 경량화에 따른 내구성과 안전성이 요구되는 추진시스템의 제어성능을 향상시키는 것은 승조원의 인력감축은 물론 추진장치의 고장으로 인한 해난 사고 발생을 방지하고 정비유지비 절감과 운전시간을 연장시키는데 지대한 영향을 미치므로 이에 대한 기술개발이 활발하여 상품화 되고있는 신형식 추진장치에 대한 이해와 관심을 갖을 필요가 있

다. 추진장치의 추력증가와 고속회전으로 인하여 추진기의 공동현상과 소음발생이 심각해지고 추진효율이 저하되므로 이를 개선시키는 방안으로 종래의 저속 주기관으로 1개의 프로펠러를 구동하는 방식으로부터 2축식 프로펠러의 회전수를 높이고 축방향으로 인접한 2개의 프로펠러를 상호 반전시키거나 프로펠러 주위에 노즐과 특수원을 부착하며 25노트 이상의 고속선박에는 나선형 프로펠러 대신에 워터젯 추진장치를 탑재하는 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 특히 5톤이하의 소형선박(어선, 유람선, 작업선, 특수선 등)에는 종래의 선외기(Outboard Motor)의 출력제한과 연료비 증가로 선미추진장치(Stern Drive System)를 탑재하는 추세이다. 최근에 상품화되어 사용하고 있는 신형식 추진장치로 간주되는 유압구동형 선미추진장치(Hydraulic Stern Drive System), 워터젯 추진장치(Water Jet System), 선회식 스러스터(Azimuth Thruster), 선회식 전동형 추진장치

(Azimuthing Propulsion Drives 혹은 Azipod), 펌프젯 추진장치(Pump Jet System), 2중 반전 프로펠러(Contra Rotating Propeller 혹은 CRP), 반잠수형 프로펠러(Surface Propeller), 전방 러더형 추진장치(Speed-Z System), 2중 러더 시스템(VecTwin System)에 대해서 개략적으로 소개하고자 한다.

## 2. 탑재선별 추진장치의 분류

탑재선박의 종류와 운항조건 및 항행구역에 따라 여기에 탑재되는 추진장치의 사양은 매우 다양하다고 할 수 있는데 기존의 스크류형 프로펠러를 제외한다면 선박의 크기에 따라 1만톤 이상의 대형선박을 대상으로 하는 추진장치는 2중반전 프로펠러와 2중러더 시스템을 들 수 있고 1만톤이하의 중형선박의 추진장치로는 엔진구동방식을 택하는 반잠수형 프로펠러, 선회식 스러스터, 전동기 구동방식인 선회식 전동형 추진장치, 펌프젯 추진장치 및 50노트 이상의 고속선박에 적합한 전방 러더형 스러스터를 들 수 있고 십톤 이하의 소형선박 추진장치에는 선외기(Outboard Motor), 유압구동 선미추진장치를 포함한 선내외기(Inboard Outboard Drive)를 들 수 있고 워터젯 추진장치는 모든선박에 탑재된다고 할 수 있다. 소형선박에 탑재되는 추진장치의 장단점을 비교하면 표1에 보이는 바와같다.

### 1) 선외기

국내연안의 2톤이하 소형선박에는 5,000~6,000rpm 범위의 고속운전이 가능한 개솔린엔진으로 구동되는 선외기를 60% 정도 탑재하고 있는데 이것은 선체와 분리되는 추진장치로 설치 및 제거가 용이하고 Compact한 구조이므로 설치면적이 작지만 디젤유를 사용하는 추진장치에 비해 연료비가 많이들고 추진장치 내부에 구동엔진, 감속장치, 역전장치, 조향장치, 냉각장치, 배기장치, 추진기 등이 인접하여 구성되므로 빈번한 고장발생으로 인하여 정비유지가 어려운 단점이 있다.

구동엔진은 2~4기통 4행정 개솔린엔진이 대부분이며 중량을 감소하기 위해 케이싱을 알미늄합금으로 하고 수직구동축과 베벨감속기어 및 프로펠러축을 거쳐 프로펠러를 구동한다. 전후진운전을 위한 역전기어는 구조가 간단한 Dog Clutch를 이용하고 수직축의 횡방향 하중은 니들베어링으로 지지하며 운전중 프로펠러가 해상 부유물이나 해저 돌출부에 충돌하면 프로펠러축의 충격과손을 방지하기 위해 방진고무를 케이싱과 프로펠러축 보스 사이에 삽입하거나 축경을 가늘게 하여 비틀림강성을 저감하여 완충토록 하고 있다. 프로펠러의 추진효율을 증가시키기 위해 2중반전 프로펠러를 채택하기도 하지만 탑재선의 선미벽에 구동엔진과 추진장치의 중량이 집중되므로 선체의 균형을 유지하기가 어려워 150마력 이하로 출력을 제한하고 있다. 따라서 선박의 크기나 주행속도를 증가

표 1. 소형선박 추진장치의 장단점

구 분	장 점	단 점
선 외 기	-경량, compact -설치 및 운반 용이 -속계배열 생략	-연료비 과다(개솔린엔진) -내구성 결여 및 정비유지 복잡 -출력 제한(100마력 이내)
엔진직결형 선미추진장치	-구동엔진 선택 다양 -원격제어(역전,조향,인양)	-경사각 제한(70° 이내) -출력 제한(500마력 이내)
유압구동형 선미추진장치	-구동엔진 정속운전 가능 -역전기어 생략, 내구성 향상 -기관 설치장소 선택 다양	-유압시스템 고가 -고압력 유압배관 복잡 -출력 제한(350마력 이내)
워터젯 추진장치	-구동엔진 과부하 방지 -해저돌출물 충돌사고 제거 -고속주행(30노트)에 유리	-저속(20노트)에서 효율저하 -혼입된 수중 이물질 제거 -속계배열 복잡

시키려면 구동엔진과 추진장치가 분리설치되는 선미추진장치나 워터젯 추진장치와 같이 선내의 기관실에 무게중심을 이동가능한 추진장치로 대체해야 한다.

## 2) 선미추진장치

구동엔진과 추진장치가 선미부에 집중되므로 선체무게의 균형유지에 문제가 있어 300마력 이하로 출력이 제한되는 소형선박의 추진장치인 선미추진장치에는 유니버어설 조인트를 통한 엔진 직결 구동형과 유압모터 구동형이 있으며 출력증대를 위해 1척의 선박에 2~3대의 추진장치를 설치하여 제어실에서 동시에 조향 및 인양각을 원격으로 제어하기도 한다.

### -엔진직결형 선미추진장치

구동엔진은 선내에 설치하고 추진장치는 선미벽 외부에 설치되므로 선내외기(Inboard Outboard Drive)라 부르기도 하며 좌우현으로 선회할 때 추진기의 추력방향도 동시에 변경되므로 조타 성능이 우수하다. 또 수심이 낮은 지역에서는 적절한 각도로 인양(Tilting) 되도록 하고 내부구조는 수직축과 추진기축을 베벨기어로 연결하여 필요에 따라 감속시키며 역전장치는 Dog Clutch, Cone Clutch, Hydraulic Clutch 등을 요구사항에 맞추어 선택할 수 있다. 최근에는 엔진의 출력이 높아지고 있어 역전장치의 내구성이나 운전·조작의 편의성을 개선하기 위해 Cone Clutch나 Hydraulic Clutch를 일반적으로 사용한다. 구동축의 중간부를 테이퍼 롤러베어링으로 지지하고 하부 구동기어 가까이 니들베어링을 설치하여 추진기의 횡방향 하중을 지지하며 베어링이나 감속기어에 윤활유 공급을 원활하게 하도록 수직축에 날개형 임펠러를 부착하기도 한다.

### -유압구동형 선미추진장치

유압구동형 선미추진장치는 엔진직결형 선미추진장치의 설치방법과 유사하게 추진장치 본체를 선미벽 외부에 부착하고 유압펌프와 이를 구동하는 엔진은 기관실내의 임의의 장소에 유압배관장치와 함께 비교적 자유롭게 배치가능한 구조를 갖으며 전후진 운전이나 회전속도 변경은 본체를

케이싱으로 하여 내장된 유압모터를 유압조종밸브로 조작하므로서 가능하고 좌우현 조향각이나 상하 인양각은 선미벽과 추진장치 사이에 설치된 각각의 유압실린더를 원격제어하므로 운전조작이 신속하고 간편한 특성을 갖는다. 고압(300bar)과 고속회전(2,500rpm)이 가능하도록 하는 유압시스템의 도입으로 제조원가가 상승되는 요인이 있으나 축정열 문제로 인한 축진동이나 내구성을 개선하고 탄성카프링, 역전장치를 생략할 수 있다.

유압모터를 본체 상부에 부착하는 외장형은 수직축과 베벨감속기어를 통하여 추진기축을 구동하므로 추진장치의 무게가 증가되고 감속기어의 내구성과 소음·진동문제가 있지만 추진장치의 본체를 유압모터 케이싱으로 활용하는 내장형은 동력전달효율이 80~83% 정도로 기계적인 구동방법에 비해 다소 떨어지지만 이보다 큰 문제인 엔진직결형 선미구동장치의 단점이라 할 수 있는 역전크릿치, 감속기어의 내구성과 기관배치의 제한성 및 축정열 불량에 의한 진동·소음문제를 해결하는 장점이 있다. 유압모터에 공급되는 유압은 주기관에 설치된 유압펌프에서 공급하며 전후진운전은 원격제어밸브를 통하여 수행된다. 추진장치의 구성부품은 유압펌프, 유압모터, 흡배출 여과기, 냉각기, 원격제어밸브, 순화펌프, 추진장치 본체, 밀봉셀, 트랜스, 인양 및 조향장치, 추진기, 오일탱크, 배관장치를 들 수 있다. 펌프와 모터 사이의 유압계통은 밀폐형이고 부족한 유압은 순환펌프가 오일탱크의 작동유를 15bar 정도의 압력으로 보충한다.

## 3) 워터젯 추진장치

저속선의 추진효율은 프로펠러에 비해 떨어지기 때문에 배수량형 선박에는 부적합하고 쌍동선이나 표면효과선 및 유람선과 같은 활주형 선박이나 고속훼리, 경비함 및 순시선과 같이 25노트 이상으로 주행하는 고속선에 적합하다. 구동엔진의 출력을 100% 활용할 수 있어서 양식장 작업선과 같이 천수해역에서 운항되는 선박에 유리하며 구성부품은 선저로부터 유입되는 해수를 펌프에 유도하는 흡입덕트, 구동축을 포함한 펌프본체, 조타 및 역추진력을 발생시키는 분사노즐과 역전버킷

으로 구성되며 이것을 원격제어하는 유압구동 원격조종장치는 조타실에 설치된 제어반에 연결되므로 구동엔진이나 추진장치의 구동력을 이용하여 유압을 공급하는 유압시스템이 구성되어야 한다. 워터젯트 추진장치는 10~120,000마력 범위로 출력이 다양한 축류, 사류펌프형이 대부분이며 Kamewa, Hamilton, Doen, Niigata, PP Jet 등 몇몇 전문제작사가 공급하고 있다. 선속이 증가됨에 따라 발생하는 추력의 변화는 축류펌프의 경우 급격하게 감소하고 원심펌프의 경우는 완만하며 사류펌프는 중간정도의 변화를 갖기 때문에 고속일수록 원심펌프형을, 저속일수록 축류펌프형을 선택하는 것이 유리하다. 워터젯트 추진장치는 감속기어나 역전크러치가 없어 구조가 간단하고 정비유지가 용이하며 구동엔진의 과부하운전이나 공회전 발생우려가 없고 임펠러가 토출양정에 해당하는 정압을 유지하는 케이싱으로 둘러싸여 있어 고속으로 회전하더라도 종래의 추진기에서와 같은 캐비테이션이 발생하지 않는다. 선미벽에 부착하기 때문에 소형선의 경우 무게중심이 선미방향으로 이동하여 운항중 안정성과 분사류의 토출위치를 적절하게 유지할수 없는 관계로 추진효율이 저하되는 것을 방지하려면 구동엔진과 추진장치는 고속으로 회전시키고 추진장치의 재질을 알루미늄합금이나 FRP로 하여 경량화 해야 한다. 펌프의 형식별 추진장치의 장단점과 유명제작사는 표2에 보이는 바와 같다.

4) 선회식 스러스터

일명 Rudder Propeller 혹은 Z-Drive라고 하며 프로펠러를 구동하는 본체, 노즐, 프로펠러 및 선회시스템으로 구성되며 본체 내부에는 구동축, 수직축, 추진기축이 감속베벨기어를 통해 90도로 연결되며 수직축에는 1~2개의 구동축이 연결되며 디젤엔진이나 전동기 또는 유압모터로 구동된다. 선회시스템은 본체에 조립된 헬기어를 1~4대의 유압모터에 조립된 피니언기어가 물려 추진장치가 운전중에도 360도 범위의 지령된 각도로 선회할 수 있도록 충분한 구동력과 추력하중을 지지하는 구조를 갖으며 프로펠러 주위를 둘러싸고 있는 노즐은 추진효율을 개선토록 한다.

대부분의 프로펠러 제작사들은 중소형선박의 추진장치와 사이드스러스터로 사용되는 선회식 추진장치를 제작하고 있는데 출력범위가 15~6,000KW이고 프로펠러 직경은 300~4,500mm 정도이며 임출항시 해저면이 낮거나 돌출부에 충돌손상의 염려가 있을 경우 저정함에 안전하게 엘리베이터형 또는 스윙형으로 장입되는 형식도 있다. 대형선박의 사이드스러스터로 활용되는 경우 추력변동의 미세조종이 용이하도록 가변핏치 프로펠러의 설치가 증대되고 있다.

5) 선회식 전동형 추진장치(Azipod)

핀란드 해안을 운항하는 쇠빙선의 신형식 추진

표 2 워터젯트 추진장치의 형식별 장단점 비교

형 식	특 성	대 상 선 박	WJ 제작사
축류펌프	- 발생추력이 크고 보스부 단면이 작다. - 회전속도, 양정에 따른 유량변화가 적다. - 날개열 증가로 흡수동력 증가 가능 - 전양정 수직형 12m, 횡형 7m이하	- 저속선 - 대추력요구 예인선	KaMeWa(스웨) Casttoldi(이) Hamilton(뉴) PP Jet(영) Doen(호)
사류펌프	- 유량이 적지만 유속이 큰 혼합류 발생 - 반경류를 안내 날개로 축방향으로 전환 - 전양정 수직형 60m, 횡형 12m 정도 - 마모링(평형, 테이퍼), 개방형 날개 가능	- 고속선 - 경하중선 - 수상오토 바이	Berkly(미) North American Marine(미)
원심펌프	- 초기 Water Jet 펌프로 채용됨. - 토출량과 비속도가 작고 압력이 높다 - 상대속도가 비교적 높을 경우 추진 장치 반력이 발생되도록 유속이 높다.	- 쾌속선 - 경비정	Byron Jackson (미)

장치 개발로 쇄빙선의 빙해로부터 탈출능력을 향상시키는 것이 검토되었다. 쇄빙선이 일반상선을 유도하는 경우 자유롭게 선회될 수 있어야 하고 추진방향을 360도 변화시킬 수 있어야 하므로 이를 근거로 ABB사가 Azipod 추진장치의 개발을 시도하게 되었다. Kvaerner 조선소와 ABB사는 1992년에 Azipod 추진장치를 공동개발하는데 합의하고 1993년 시작품을 제작하여 1994년 Lunni호의 추진장치를 Azipod로 교체하는 프로젝트를 수주한 후에 Kvaerner Masa-Azipod사를 설립했다. 1997년 10월에 ABB, Fincantieri사와 합동출자하여 ABB Azipod사를 설립하고 Aipod 추진장치의 상품화를 시작하였다.

1991년 핀란드 Seli호에 1.5MW급 추진장치를 탑재한 것이 시초이나 현재까지 사용중이며 현재까지 10여척의 선박에 설치되었고 최대출력 14MW 정도이며 주추진장치 이외에 사이드스러스터로 활용되고 있다. 추진기의 경사각을 6도 정도 아래쪽을 향하게 변경하여 추진효율을 2~3% 증가시킬 수 있었다. 실선시운전 결과 기존의 추진시스템에 비해 선회반경이 30% 감소하고 역전운전에 의한 긴급정지를 어떠한 정지방향에서도 가능하며 프로펠러 반류분포를 개선하여 선체에 작용하는 충격파에 의한 진동을 저감시켜 승객이나 승무원에게 쾌적을 주며 스텐스러스터로 작용하므로 별도의 조타장치를 생략할 수 있었다.

선회시스템은 전동유압형으로 하여 4개의 유압모터를 사용하여 충분한 선회속도와 지지력을 갖도록 하였다. 정전사고에 대비한 안전성 확보를 위해 2축이상의 추진기를 독립된 발전기에서 전원을 공급하고 상용부하상태에서 선체와 공진이 발생하지 않도록 구조강도를 유지시켰다.

#### 6) 펌프젯트 추진장치

독일 Schottel Weft사가 제작하고 있으며 러더 프로펠러(Z-peller)와 같이 추진력을 360도 방향으로 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 이것의 구조는 워터젯트 추진장치의 일종이며 수심이 낮은 해역에서 사용이 가능하고 조타실에서 원격제어되며 구동모터의 회전속도가 변화됨에 따라 추력이 증감되고 분사류의 토출방향을 펌프케이싱에 고정

된 토출구를 선회시킴에 따라 추력의 방향을 제어하도록 되어있다. 주요 구성부품으로는 외통, 구동축, 감속기어, 임펠러축, 임펠러, 디퓨저, 압력 케이싱, 토출구, 선회기어, 유압모터, 선회각 추종센서, 흡입구를 들 수 있다. 외통은 선체에 부착되고 여기에 선회기어와 유압모터, 선회각 추종센서 및 감속기어가 조립되며 외부에 설치된 구동모터는 90도의 설치각을 갖는 베벨감속기어를 통해 임펠러를 구동한다. 한편 임펠러 주위를 둘러싸고 있는 케이싱은 선체와 격리되어 임펠러의 유체역학적인 소음과 진동을 선내에 전달되는 것을 억제한다. 이것의 구동은 유압모터와 선회기어에 의해 이루어지며 토출노즐, 안내통, 선회기어가 설치된다. 구동모터의 출력은 유니버셜쇼인트를 통하여 구동축에 전달되고 선저로부터 원심식 임펠러에 의해 흡입구를 통해 유입된 물은 상부에 있는 디퓨저를 통하면서 운동에너지가 압력에너지로 변하고 압력 케이싱을 거퍼 3개의 토출구를 통하여 경사지게 분출되어 추력을 발생시키는 것이다. 이것의 특징을 요약하면

- 매우 낮은 수심에서도 사용이 가능하고 사이드스러스터로 사용되는 경우 주행속도 증가에 대한 추력저하가 터널형 스러스터에 비해 작고 나선형 프로펠러에 비해 진동·소음레벨이 20dB 정도 낮다.
- 경하중상태에서도 사이드스러스터로 활용이 가능하고 미속운전시에도 추력저하가 적어서 계선 장치로 성능이 양호하다.- 주추진용인 경우 18노트 이하로 제한되며 보통 10~12노트 이하인 경우에는 양호한 조종성능을 갖지만 고속선에서는 구동마력의 증대에 따라 효율이 저하된다.
- 용도와 탑재선박의 운항조건에 따라 사양이 크게 변한다. 연속운전되는 주추진용의 경우에는 안전계수를 높이기 위해 같은 모델의 경우일지라도 구동출력을 50% 정도 낮추고 간헐적으로 비교적 단시간 사용되는 보조추진용의 경우에는 최대출력으로 운전이 가능하다.
- 구동원동기로는 일반적으로 디젤엔진을 사용하지만 유압모터나 전동기를 사용해도 무방

하다. 이들 원동기는 발생추력을 제어하기 위해 회전수를 변경할 수 있어야 하고 흡입구의 이물질 제거를 위해 임펠러를 역전운전이 가능해야 하는 경우에는 역전크러치를 설치해야 한다.

7) 2중반전 프로펠러

160여년 전에 영국에서 개발된 것으로 소형선의 선외기나 어뢰의 추진기로 사용되어 오다가 대형선의 추진장치로 사용하기 시작한 것은 1990도 부터이다. 이것은 동심원으로 조립된 2중축에 프로펠러의 날개수, 직경, 핏치 및 회전수가 상이하고 회전방향 반대이며 구동축의 지지베어링, 성형 감속기어와 밀봉장치의 신뢰성 확보가 어렵고 내·외축의 강도계산, 축정열 및 비틀진동해석이 다소 복잡하다고 할 수 있다. 이것의 구조와 구동방법을 간략하게 설명하면 주기관의 출력이 탄성카플링을 거쳐 성형 감속장치에 전달되면 내축의 후방 프로펠러와 외축의 전방 프로펠러에 1/2씩 분할되어 내축이 외축보다 감속비 만큼 저속으로 회전토록 하므로서 전방 프로펠러의 회전성분 에너지를 후방 프로펠러에서 흡수하여 추진효율을 향상시키는 추진장치라 할 수 있다.

8) 반잠수 추진장치

고속주행 보트의 추진장치로 적합한 Anerson 반잠수 추진장치는 10년전에 미국에서 개발되었으며 반잠수 프로펠러의 고속성능이 우수한 실적을 활용한 것으로 프로펠러축을 관절접합해서 주행중에 프로펠러축의 경사각을  $\pm 7.5$ 도 범위로 조작해서 프로펠러의 잠수깊이를 조절해서 운항조건에 적응하는 것이다. 이것은 유압선, 경비정 등의 중소형 고속정에 적합한 추진장치이며 구성부품은 동력을 전달하는 추진장치 본체, 조향 및 인양각 조작을 위한 유압실린더를 들수 있으며 추진장치 본체에는 구동축, 유니버어셜 조인트, 프로펠러축, 케이싱이 조립된다. 프로펠러축은 추력베어링과 같이 선미관을 통하여 조립되고 프로펠러 추력은 축에서 외부의 케이싱(추력관, 볼 소켓트, 소켓트 하우싱)을 통하여 선미벽의 설치대에 전달된다. 케이싱은 볼 소켓트 부분에서 절곡되는 것이

가능하도록 되어있다. 볼 소켓트부에는 O-링과 팩킹재를 이용하여 해수가 침입되지 않도록 되어있고 볼 소켓트의 외부에는 기계적인 보호와 조개류의 부착을 방지하기 위해 고무판으로 씌우진다.

추진장치의 인양각과 조향각을 조종하기 위해 전동유압장치로 인양각 제어실린더에 유압을 공급하는데 이 유압시스템은 모터, 펌프, 슬레노이드 밸브, 오일탱크로 구성되며 조종반의 스위치를 조작하므로서 프로펠러축의 경사각을 변화시키고 임의의 프로펠러 잠김깊이를 조정한다. 조향각의 조종은 유압펌프와 유압밸브로 구성되며 유압밸브는 유압펌프의 유압을 조향핸들에 접속된 Helm 축을 통해서 조향실린더에 공급하고 유압펌프에는 엔진이나 전동기로 구동된다.

프로펠러는 운항중에 반잠수상태로 동작하여 적극적인 공기유입으로 날개 후면에 안정된 공기막을 형성하여 케비테이션의 영향을 제거하고 고속회전이 가능케 되어 높은 추력을 얻을 수 있다. 또 고속정에서의 유체역학적 저항이 속력에 크게 영향을 미치므로 완전 잠수된 프로펠러의 경우 프로펠러 주위에 설치되는 보강대의 저항이 문제가 되므로 반잠수형으로 하면 수중에서 보강대와 같은 저항을 제거하므로 유리하다. 한편 반잠수형 프로펠러의 문제점으로 이론적 프로펠러 설계방법이 확립되어 있지 않고 프로펠러와 선체의 조합은 과거에 실시된 모형시험의 축적된 자료와 실적에 의존하고 있는 실정이다. 또 작동시에는 완전 잠수형 프로펠러 보다도 수평방향과 수직방향의 분력이 크게 발생하고 잠수상태의 변화에 대해 민감한 성능변화가 있음을 고려해야 한다. 반잠수 프로펠러의 날개 형상은 중앙부가 오목한 형태에 가까우며 후연부가 일직선으로 잘린 모양이 대부분이다. 날개의 단면형상은 케비테이션 방지에 유리한 Troost형이며 간혹 원호형을 채용한다. 이것의 특징을 요약하면

- 추진장치 하부에 부착된 뿔(Skeg)이나 수중 돌출부의 저항을 감소한다.
- 프로펠러의 발생추력 방향을 적극적으로 변화시켜 기동성을 크게 개선시킨다.
- 프로펠러축의 경사각을 상하로 변화시켜 프로펠러의 잠수깊이를 조절해서 탑재하중의

조건변화에 대응한다. 시험실적으로 보아 추진기의 잠수를 45~55% 정도에서 기동성이나 케비테이션 방지에 유리하지만 추력증대에 의한 주행속도는 잠수를 65% 부근에서 개선됨을 알 수 있다.

- 고정된 부가물이 없기 때문에 수심이 낮은 해역에서 주행이 가능하다.

### 3. 신형식 추진장치별 사양과 개발동향

선박의 추진효율을 높이기 위해 프로펠러를 이용한 추진장치의 경우 이를 구동하는 방법을 변경하거나 프로펠러 형상을 변화시키는 방법 이외에 구동엔진과 추진장치의 구성방법이 검토되고 있다. 워터젯트의 경우 임펠러의 날개를 다단으로 배열하거나 유체역학적 해석을 근거로 날개형상을 변경하고 있으며 선체의 점성저항이나 조타장치의 마찰저항을 감소하고 프로펠러 주위의 유체흐름을 흐름을 개선하여 케비테이션 방지는 물론 추력을 효과적으로 이용토록 하는 방법을 강구하고 있다. 유압모터나 전동모터로 프로펠러를 직접 구동하는 방법은 동력전달 효율을 80% 이상 높이고 원격제어 성능향상과 추진장치의 구성을 단순화해서 내구성을 높일수 있기 때문에 점차 이를 이용한 추진장치의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이들 신형식 추진장치의 사양과 개발동향을 제품별로 소개하면 다음과 같다.

#### 1) 선미추진장치

5톤이하의 소형선박이 25노트 이상으로 주행속도를 증가하려면 개솔린엔진으로 구동되는 선의기는 연료비가 3배 가까이 들고 진동·소음레벨이 5~10dB 정도 증가되며 출력제한 때문에 이들의 추진장치를 선미추진장치와 워터젯트추진장치로 대체되어야 한다. 그러나 연안어업 총생산고의 75%를 천해양식어업이 차지할 정도로 양식장이 많이 분포되어 있는 국내연안에서는 소형선박의 추진장치가 로우프에 감기거나 양식장 부설자재 등의 수중 부유물에 빈번하게 충돌되어 구동기관이나 추진장치를 손상시키기 때문에 이에대한 대책을 강구하지 않고서는 선미추진장치의 내구성

문제로 사용실적이 저조하였다. 이를 해결하기 위한 관련기술의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

#### -엔진직결형 선미추진장치

국내에서 개발하여 상품화를 추진중인 엔진직결형 선미구동장치의 주요사양은 표3과 같으며 주요부품 구성은 주기판과 역전기어가 별도로 선내의 기관실에 분리 설치되고 상부기어박스의 윤활유 공급을 수직축에 설치된 스크류펌프로 강제 유회도록 하여 국내 연안이나 양식장에서 유회중 빈번하게 발생하는 선저돌출물의 접촉, 로우프 감김 등이 원인이 되어 추진장치의 감속기어나 크릿치의 손상, 주기판의 과부하운전으로 인한 손상사고 및 상부기어와 지지베어링의 과대마모를 방지토록 하였다. 크릿치의 구조가 유압다판식인 관계로 추진기축의 로우프 감김이나 추진기의 접촉충격시 크릿치의 마찰판에서 스틱이 어느정도 발생토록 하여 Dog Clutch를 통하여 전후진운전이나 구동력이 전달되는 수입제품에서 가장 심각하게 대두되고 있는 역전크릿치, 감속기어의 내구성문제를 해결하므로써 국내 연안에서의 유회조건에 적합한 소형선박 추진장치가 되도록 하였다. 상부기어박스의 유회방법을 수입제품에서와 같이 감속기어 회전운동으로 유회유가 비산되도록 하는 방법 대신 수직축 외부에 왼쪽 2열의 사각스크류를 가공하고 주위를 둘러싸고 있는 라이너 내부에는 동일치수의 오른쪽 2열의 사각스크류를 가공하여 운전중 내재된 유회유가 상부로 압축되어 이들 상부덮개의 노즐(직경 4mm, 8개)을 통하여 2~3기압 정도의 고압으로 강제 유회토록 하므로써 유회조건 개선에 의한 상부 감속기어와 지지베어링

표 3 엔진직결형 선미구동장치의 주요사양

항 목	YC -150E	YC -235B
구동엔진 최대출력	155PS/ 3,200rpm	230PS /3,200rpm
크릿치형식/ 감속비	유압다판식 / 1.56 : 1	유압다판식 / 1.56 : 1
본체 재질	AC4C	AC4C
조향/인양각	±30°/55° (유압제어)	±30°/55° (유압제어)
중 량	85Kg	90Kg

의 내구성을 향상시켰다. 로우프 감감을 개선토록 하는 방법은 선외기에서와 유사하게 축봉셀 덮개와 추진기가 요철부에서 결합된다.

－유압구동형 선미추진장치

고속디젤엔진으로 구동되는 유압펌프는 사축식 혹은 사판식이며 압력 250~300bar, 회전수 2,200~2,500rpm으로 운전되고 유압모터는 알루미늄합금재인 추진장치 본체에 내장되어 프로펠러를 최대 3,000rpm 까지 전후진방향으로 직결구동하므로 엔진직결형 선미추진장치의 단점이라 할 수 있는 역전크러치, 감속기어의 내구성과 기관배치의 제한성 및 축배열 불량에 의한 진동·소음문제를 해결하는 장점이 있다. 유압모터에 공급되는 유압은 주기관에 설치된 유압펌프에서 공급하며 전후진운전은 원격제어밸브를 통하여 수행된다. 이렇게 하므로서 역전크러치, 감속기어, 윤활펌프, 구동축, 수직축, 유니버설 조인트 등의 부품을 제거해서 내구성을 2배이상 향상시키고 주기관의 설치 위치를 임의로 변경하여 효율적인 선실구획이 가능케 하였다. 인양각과 조향각 제어범위를 엔진직결형에 비해 20~30% 확대하여 조종성능을 높이고 유압장치의 중량과 설치면적 축소를 위해 밀폐식으로 하고있다. 더욱이 탑재선의 속도와 적재톤수가 증가할 경우 1대의 엔진으로 구동되는 유압펌프에서 2~3대로 분리설치된 추진장치의 유압모터에 유압을 공급하여 여러개의 프로펠러를 동시운전이 가능하게 하므로 단순화된 기종으로 출력범위의 조정을 다양하게 할 수 있다. 현재 개발

중인 제품의 사양은 표4에 보이는 바와 같다.

2) 워터젯트 추진장치

일본 MHI에서 개스터빈으로 구동되는 12,500KW급 워터젯트의 경량화를 위해 용접조립하고 축류형 임펠러의 날개를 2~3열로 하여 비속도가 2,500을 초과토록 하여 흡입성능과 추진효율을 높여서 50노트 이상의 초고속선에 탑재가능하도록 실용화를 추진중이다. 호주의 Hamilton사에는 FRP선에 탑재되는 중형 워터젯트 추진장치의 덕트를 경량화 및 내식성을 향상시킬 수 있도록 선체와 동일한 재질인 FRP재를 활용하고 알루미늄합금재인 본체와 노즐 및 역전버킷 등의 부품을 조립토록 하고 있다. 영국의 VosPower사에서는 100~1,300PS 범위의 중소형 추진장치의 덕트와 노즐 및 역전버킷 등의 부품을 GRP로 제작하고 있다.

국내에서도 축류형 펌프인 500마력급을 제작한 바 있으며 덕트와 고정자하우싱을 FRP성형하는 과정을 소개하면 다음과 같다.

- － 목형을 조립베드, 베어링지대, 하우싱, 안내날개로 4분할하여 제작하고 이를 이용한 1차성형물은 목형제거후 상호접착하여 설계치보다 약간 여유있게 성형하고 형상이 복잡한 안내날개는 목형을 중자(core)로 하여 FRP성형을 위한 석고몰드를 이용한다.
- － 목형이나 석고몰드의 표면에는 수지재가 잘 분리되도록 이형재를 도장하고 경화시 발열 축소를 위해 경화시간이 일반 이형재의 1/2이 단축되도록 경화촉진제를 1% 정도 혼합하여 경화기간중 발열로 인해 FRP재(초 내식용 비닐에스테르계)가 목형으로부터 잘 분리되도록 한다.
- － 목형을 이용한 FRP몰드(Iso-Butyle산계 PVA)는 두께를 1mm정도로 얇게 하여 성형하고 유리섬유의 두께는 0.1mm 정도로 하며 15분 정도 경화후 목형으로부터 FRP몰드를 분리시킨다. 이때에두께가 너무 두꺼워서 발열은 물론 신축성이 떨어지지 않게해야 한다.
- － 폴리에스테르계 Polystar 98.5%, 경화촉진제 0.5%, 경화재 1% 비율로 혼합하고 유리섬유

표 4 유압모터 구동형 선미구동장치의 주요사양

항 목	100마력급 외장형	300마력급 내장형
구동엔진 최대출력	100PS/ 3,200rpm	300PS/ 3,200rpm
유압펌프/ 모터 용량	사판식 65cc/ rev, 250bar 사판식 140cc/ rev, 250bar	사축식 55cc/ rev, 250bar 사판식 140cc/ rev, 250bar
본체 재질	AC4C	AC4C
조향/인양각	±35°/70° (별도유압제어)	±35°/70° (추진유압활용)
중 량	60Kg	80Kg



재를 목형으로부터 성형한 FRP몰드에 회전수 7~30rpm의 속도로 회전하면서 적층 및 혼합수지 도포작업을 반복하여 설계치수에 이를때까지 성형한다.

- 경화가 완료된후 가공하며 부품의 결합을 위해 설치되는 볼트의 고정부는 너트를 체결하거나 이완시킬 때 충분한 강도를 갖도록 두께를 가급적 여유있게 적층하여 성형물의 기계적성질은 인장강도 19kg/mm<sup>2</sup>, 굴곡강도 21kg/mm<sup>2</sup>, 경도 35HB가, 비중 1.1 정도이다.

### 3) 선회식 스러스터

프로펠러의 형식이 비대칭형인 날개를 갖고 피치를 원격제어하는 가변피치형으로 변화되고 있으며 중량감소를 위한 소재 경량화와 선체에 전달되는 진동 및 소음을 저감하는데 노력을 기울이고 있다. 출력증가를 위해 Schottel사에서는 수직축에 상하로 2개의 베벨기어를 부착한 2축 구동형 스러스터를 개발하고 있으며 선저의 수심변화에 따라 추진장치가 해저면에 접촉하여 손상되는 것을 방지하기 위해 수직방향이나 90도의 인양각으로 인양시키는 장입형(Retractable) 스러스터를 공급하고 있다. Ulstein사에서는 885KW급 스러스터를 3.5만톤 여객선의 타기실 바닥에 부착된 저장실에 스러스터를 유압으로 인출하거나 장입이 가능하도록 하는 선회식 스러스터를 개발하여 주추진장치를 보조하는 추진시스템으로 활용토록 하였다. 이것을 1.1만톤급 연안훼리에 탑재한 경우 7.5노트로 주행이 가능함을 확인하여 상품화에 성공하였다.

### 4) 선회식 전동형 추진장치

핀랜드 ABB사와 Kvaerner Masa조선소가 공동으로 선회형 전기추진장치인 Azipod (Azimuthing Electric Propulsion Drive)를 공동으로 개발하였는데 이것은 주파수 변환형 교류모터 구동 전기추진장치라 할 수 있다. 현재 7척의 시험선에 탑재되어 성능을 확인중에 있다. Azipod는 선박의 종류에 관계없이 추진효율과 경제성을 높이는 효과를 얻고 있다. 성능확인 결과를 몇가지 사례를 들어 소개하면 다음과 같다.

- Azipod 추진장치를 협수로를 운항하는 "Seli호"에 탑재한 결과 주추진장치로 요구되는 기능을 발휘하였다.

- 빙해를 운항하는 유조선 "Uikku호"에 11.4 MW 고출력 추진장치를 탑재한 결과 조종성과 효율이 우수하고 출력증대가 가능함을 확인하였다.

- 1995년에 후진방식 쇄빙선 "Rothelein호"에 이 추진장치를 탑재하여 탑재 전후의 성능을 비교한 바 우수성을 확인하였다.

### 5) 펌프젯트 추진장치

현재까지 상품화된 제품의 출력 49~3,500KW, 선저 외통직경 660~4,300mm 범위이고 임펠러의 회전수는 소형의 경우 1,500~2,000rpm이고 중대형의 경우 1,000rpm 이하이며 분출각도를 수평면에서 아랫쪽으로 13도 경사지게 하므로서 2대를 인접설치한 경우 분출류의 간섭을 적게하였다. 분사노즐은 추종발진기에서 지령한 선회각까지 자동적으로 추종되며 선회각은 조타실에 설치된 지시계에 표시되며 조종핸들을 포함해서 완전히 독립된 회로로 구성된다. 2축선에 탑재된 경우 1인이 2대를 동시에 조종해야 하므로 엔진조종레버와 선회각 조종레버를 연동되게 하고 사이드스러스터로 사용되는 경우 선회각을 전동기로 직접 제어하고 주추진장치는 유압모터로 제어하여 선회각 제어오차는 축소하도록 하였다. 그러나 구동출력에 비해 발생추력이 나선형 프로펠러에 비해 50~60% 정도이고 저속선의 추진장치로 한정되며 임펠러와 감속기어의 기어비가 한가지 모델밖에 없어 원동기의 회전수-출력 특성을 제한하므로 사양이 다양하지 못하지만 최근에 임펠러 및 출구형상을 변경하여 추력을 10% 정도 증가시켰다.

### 6) 2중반전 프로펠러

내측의 메탈베어링을 높은 압력으로 정압윤활시켜 강제적으로 유막이 형성되도록 해서 신뢰성을 높이고 내측 카프링이 조립되는 위치의 외측에 볼트로 조립한 분할된 중간축을 삽입하여 내측의 분해·조립이 용이하도록 하였다. 여객선이나 해양조사선의 추진장치에서 발생하는 진동·소음을

저감하기 위해 프로펠러를 전동기로 구동하는 2중반전 프로펠러를 일본 IHI에서 개발하였는데 이것의 특성은 유성형 감속치차 대신에 2중반전이 가능한 전동기로 직접구동하는 종래의 어뢰 추진장치의 원리를 활용하여 중대형선의 추진장치로 사용되도록 하였다. 2중반전 전동기 1대로 구성되며 외축에 고정자가 고정되고 발생 토오크는 속도의 자승에 비례하고 고정자에 공급되는 여자전원은 외축이 회전하기 때문에 스텝링을 통하여 기동시에만 고정자(외축)를 반전시키는 초동기전동기이므로 내외축이 회전방향이 반대이지만 회전속도는 동일한 것 등을 들 수 있다. 스텝링과 부러쉬는 고전압, 대전류용이며 추진축과 전동기의 회전자를 지지하는 베어링의 윤활을 위한 윤활유 공급은 내측 전단부에서 공급토록 하고 냉각통풍은 부러쉬의 마모분을 효과적으로 제거할 수 있도록 하였다. 전후방 프로펠러의 회전수가 동일하므로 종래의 성형감속장치를 이용한 경우에는 부하분담이 비슷하도록 하기 위해 저속회전하는 전방 프로펠러의 직경과 토오크가 크고 후방 프로펠러의 직경과 토오크가 작았던 것과는 달리 전방 프로펠러의 직경은 크지만 핏치는 작게하고 후방 프로펠러는 이와 반대로 하는 것이 추력발생이 동일하게 하여 추진효율이 향상되도록 하였다. 전동식은 기계식 구동방법에 비해 설치비가 많이 들지만 효율은 4~5% 증가되므로 결과적으로 전자의 경우가 설치면적의 감소와 구조의 단순화 차원에서 유리한 것이 장점이라 할 수 있다.

7) 전방 러더형 추진장치

늘웨이 Ulstein사에서 50노트 이상의 고속선 추진장치로 개발한 1,000~2,000KW 출력범위의 추진시스템은 고정형 스텝스터와 같은 구조를 갖지만 러더를 추진기 전방에 설치하고 있는 것이 특징이며 구성부품은 구동축, 감속기어, 수직축, 프로펠러축, 크릿치, 가변핏치 프로펠러, 핏치 및 회전속도제어를 위한 제어시스템을 들수있으며 워터젯트 추진장치에 비해 5% 정도 효율이 개선되도록 하였다. 이 장치는 비교적 설치가 용이하고 진동·소음을 개선하였으며 러더를 전방에 설치함으로써 프로펠러 주위의 유체흐름을 개선하고 마

찰저항을 감소하여 추진효율을 높이는 효과를 발휘하도록 하였다.

8) 2중러더 시스템

프로펠러 후방에 2개의 유선형 단면을 갖는 러더를 병렬로 배열하고 러더의 상하면에 수평단면을 부착하여 선교에서 Joystick으로 75도의 범위 내에서 각각 독립되고 원격제어되는 2중러더 시스템은 일본 Hamworthy사에서 개발되어 실용화 단계이다. 이 장치는 후진운전 중에도 긴급정지버튼을 조작하면 자동적으로 2개의 러더가 최대 타각으로 벌어져서 러더에 작용하는 추력의 합성벡터로 인하여 선박의 정지거리를 단축하므로 워터젯트와 유사한 역전성능을 갖기 때문에 스텝스터와 주기관의 역전장치를 생략할 수 있다. 그러나 러더가 2개이므로 저항이 증가하고 전진운전시 추력감소계수가 커져서 러더가 1개인 경우에 비해 추진성능이 저하되므로 이를 개선하기 위해서는 프로펠러 보스캡 흰의 설치가 필요하다. 이 장치의 실선탍재 결과로 부터 특성을 요약하면 아래와 같다.

- 러더의 설치위치는 프로펠러 후단에서 프로펠러 직경의 65%인 거리에 설치하는 것이 후류를 역방향으로 분사시키는데 가장 효과적임을 알 수 있다.
- 주기관을 역전하는 경우에 비해 정지거리가 40% 단축되고 소요시간은 2분 정도로 가능하다.
- 후진시 주기관 역전운전에 의한 선체진동을 제거한다.
- 선장 150미터 정도의 선박을 초속 20미터의 강풍이 부는 상태에서 예인선 보조없이 2중러더 추진장치와 선수조종장치로 계선조작이 가능하였다.
- 입항시 예인선의 보조없이 자동 조타장치를 이용해도 오차범위 5도 이내의 방위각을 유지하면서 서미속 주행이 가능하다.
- 기상관측선의 수천미터 해저관측을 위해 선위치를 정확하게 유지하는데 Joystick만으로 조작이 가능하였다.

#### 4. 소형선박 추진장치의 성능시험

##### 1) 선미추진장치

소선선박에 탑재되는 선미추진장치의 실선탑재 성능확인을 위해 SOLAS기준에 의한 구명정의 선외기 성능시험기준 가운데 구동엔진의 기능을 제외한 추진장치의 재료특성, 내후성, 원격제어성능, 운전조작, 부하특성 및 내구성 등을 육상 시운전시에 확인하고 실선 탑재후 선회반경, 역전운전시 제동거리, 발생추력 등을 측정하고 운전중 진도·소음, 추진효율, 온도상승, 밀봉셀과 결합부의 누유상태 등을 검토한다.

##### 2) 워터젯트 추진장치

육상시운전을 위해 시험수조의 수면상에 설치된 시험대에 추진장치와 구동장치를 연결하여 구동이 가능하도록 하고 노즐로부터 토출되는 분사류가 수면상에서 5~7도 정도로 경사지게 분사되도록 한 후 임펠러의 회전수, 노즐의 조향각 및 역전버킷의 인양각을 변경하여 추력벡터, 진동·소음레벨, 양정, 유량 및 온도차 등을 측정하여 이상유무를 확인하고 임펠러의 효율을 검토하며 최적상태에서의 케이싱과 임펠러의 간극, 노즐직경을 변경하여 설계사양에 적합한 추력과 펌프효율이 발생하는지 확인한다. 해상시운전 중에는 추진장치와 선체와의 공진여부, 주행속도, 선회반경 및 제동거리 등을 검토하고 운전중 결합부의 누설여부 및 온도상승 유무를 확인한다.

##### 3) 가변핏치 프로펠러

프로펠러가 일정방향으로 회전하면서 날개의 핏치각을 조정하여 전후방향으로 추력이 발생되거나 중립위치에 있도록 해야 하므로 보스부에 조립되어 있는 날개들이 지령신호에 따라 정확하게 핏치각을 유지하고 또 최대각으로 변하는데 소요되는 시간이 설계치에 부합하는지를 확인하는 절차는 프로펠러가 정지상태에서 수행되며 이들의 조립부인 날개와 축봉셀에서 윤활유가 누설되는지를 확인해야 한다. 프로펠러가 정상속도로 회전하는 동안에도 기어박스과 축봉셀에서의 누유상

태, 기어박스의 소음·진동레벨, 베어링의 발열상태, 날개의 핏치각 변화 등을 확인하며 수조시험시 핏치각과 회전수에 따른 발생추력을 측정한다. 제어시스템의 지시계의 오차여부, 기동방지장치의 작동여부, 윤활유탱크 레벨에 따른 “경보” 및 “정지” 신호 발생여부 등을 확인하고 비상운전을 위해 유압회로의 전원을 차단하고 기계적으로 핏치조종이 가능한지를 검토한다.

#### 5. 결 론

국내에서 건조되는 중대형선박이 연간 250여척 임을 감안할 때 여기에 탑재되는 고정핏치형 프로펠러를 제외한 신형식 추진장치는 국내 관련기술이 미흡하여 전량 수입하고 있으며 시장규모는 연간 수천억원 규모로 판단된다. 더욱이 선박의 자동화, 고속화, 경량화 추세로 추진장치의 제어성능과 추진효율 향상을 위해 외국의 전문제작사들은 신제품개발을 위해 부단한 노력을 기울이고 있으며 국내에서 건조되는 선박의 종류도 LNG선이나 크루즈급 여객선과 같은 고부가가치선의 비중이 증가하면서 추진장치의 신뢰성문제가 엄격해지고 연료비 절감에 의한 운항경비를 개선하는데 있어서도 신형식 추진장치의 도입이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 세계적 조선공업국인 우리나라는 이에대한 관심이 없고 수주물량 확보에만 열중한 나머지 성능이 우수한 선박의 가격경쟁력을 유지하는데 많은 문제점을 나타내고 있어 안타깝다. 우선 소형선박에 탑재되는 신형식 추진장치의 국산화부터 시작하여 점차 대형선박에 적용되는 제품을 실용화해야 할 것이다. 소형선박의 경우는 선외기 시대에서 반잠수상태의 선미추진장치나 워터젯트 추진장치 시대로 전환될 전망이며 중대형 선박의 경우는 고속선에 워터젯트가 대표적인 추진장치로 정립되고 기존의 고정핏치형 나선프로펠러도 점차 가변핏치 프로펠러와 2중반전 프로펠러로 교체될 전망이다. 특히 중형선박에는 대형선박의 사이드스러스터로 활용되는 선회형 스러스터와 펌프젯트 추진장치 등이 탑재되고 있어 보조추진장치의 개발에도 노력해야 할 것이다. 대형선박의 경우 1~2%의 추진효율을 개선시키면 연료비

절감이 막대하여 초기설치비가 다소 많이 소요되는 신형식 추진장치일 지라도 선박소유자는 채택할 것이므로 추진효율을 개선하는 제품개발에 많은 관심을 갖들이고 투자가 수반되어야 한다.

### 參考文獻

1. 商工部, 小型船舶 驅動裝置 開發에 關한 研究, 한국 기계연구원 연구보고서 BSM226-1616 · D, 1992. 8
2. 통상산업부, 중형 Water Jet 추진장치 개발, 한국기계연구원 연구보고서 BSM034-356 · M, 1997. 8
3. 高田秀文, 船舶推進用 交流 2重反轉 電動機, 船의 科學, Vol.48, p60~65, 1995. 6
4. 半田建一 外, 小型船 推進機 の 軸系, 日本船用機關學會, 第27卷 第9號, 1992.8
5. N. Tohge, Shafting of Contra Rotating Propeller,

Journal of the M.E.S.J, Vol.27, No.9, p760~767, 1992. 9

6. J. Seastrom, Practical Application of Water Jet Propulsion in Pleasure and Commercial Boats, SAE Technical Paper 740284, 1997
7. R.E. Lambrecht, Water Jet Propulsion-Competition for Propeller?, SAE Technical Paper 740283, 1997
8. K. Matsumoto, H. Tanaka, Optimization of Design Parameters of Water Jet Propulsion System, FAST '93, Second International Conference on Fast Sea Transportation, Yokohama, Japan, 13-16 Dec. 1993, The Society of Naval Architects of Japan, 1993
9. Journal of the M.E.S.J, Vol.34, No.6, 1999. 6
10. Journal of M.E.S.J, Vol.34, No.7, 1999. 7