

# 연근해 어선용 신형식 추진장치 개발

김 영 주/한국기계연구원 책임연구원

## 1. 서 론

지난해 말까지 국내 어선은 77,575척으로 연안해역의 오염과 어자원 보호를 위한 배타적 경제수역(EEZ) 및 어획가능량(TAC) 규제에도 불구하고 매년 0.5~0.8% 정도의 증가율을 유지하고 있다. 어선의 노동인력감소와 어로성능을 향상시키기 위해 지속적인 어로장비 자동화와 신형식 추진장치 실용화를 본격적으로 추진되고 있다.

중소형선박의 추진장치에는 구동엔진과 축계장치가 선내의 기관실에 설치하는 종래의 프로펠러 추진장치인 선내기(Inboard Stern Drive System), 구동엔진은 기관실내에 설치하고 조향장치를 포함한 구동축, 감속기어, 크러치 등은 선외에 설치하는 선미구동장치(Stern Drive System), 구동엔진과 추진장치가 일체로 되어 선미격벽에 부착되는 선외기(Outboard Drive System), 프로펠러 대신에 사류펌프나 축류펌프로부터 선미방향으로 해수가 분사되어 그 반작용을 이용해서 추진되도록 하는 워터젯추진장치(Water Jet Propulsion System), 초고속선박의 추진장치로 이용되는 공기부양선의 공기프로펠러(Air Propeller), 초전도 현상을 이용하

는 전자추진장치(Superconduction Magneto-Hydrodynamics) 등이 있으며 프로펠러 추진효율을 높이기위해 선미구동장치나 선외기의 추진기로 이용하는 이중반전 프로펠러(Contra Rotation Propeller)와 날개붙이 캡 프로펠러(Propeller Boss Cap Fin)를 들 수 있다. 이들 가운데 연근해어선의 신형식 추진장치로 널리 사용되는 추진시스템은 표1에 보이는 장단점을 갖는 선내기, 선미구동장치, 선외기 및 워터젯트 추진장치이며 이 가운데 4만척 이상의 3톤이하인 어선에 탑재되는 선외기는 디젤연료유 보다 2배정도 가격이 비싼 가솔린을 연료로 사용하기 때문에 어선의 면세유 혜택이 없어짐에 따라 운항경비 가운데 연료비가 차지하는 비중이 커져서 이들 선외기는 신형식 추진장치인 선미구동장치나 워터젯트 추진장치로 대체되는 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 선미구동장치와 워터젯트추진장치는 선외기에 비해 연료비를 50~70%, 진동·소음레벨 5~10dB 정도를 저감할 수 있고 천해수역에서 어로작업시 해저돌출물에 추진기가 접촉손상을 일으키는 것을 방지하기 위해 추진기의 높이를 70°범위내에서 적당한 각도로 원격조종하여 경사지게 할 수 있고 워터젯트추진장치는 선저의 관통구에 흡입덕트가 직접

부착되므로 프로펠러와 조향타를 설치한 종래의 추진장치인 선내기에서와 같은 돌출부 충격손상을 방지하므로 양식장 작업선에서 이러한 추진장치의 채용을 선호하고 있다. 이들 추진장치를 구동하는 엔진은 감속기어를 거치지않고 추진장치와 직결되어 고속회전하는 구조로 되므로 구동엔진의 중량을 70% 정도까지 감소할 수 있어 소형어선의 기관배치에 유리한 구조를 갖는다. 현재 개발중인 유압구동형 선미구동장치는 구동엔진이 추진장치를 직접 구동하지 않고 추진장치를 구동하는 유압모터에 공급된 유압을 제어 하므로서 전후진운전, 조향각 및 인양각을 원격제어가 가능하여 별도의 역전크릿치나 감속기어를 생략할 수 있다. 5톤이하의 활주형 FRP선에서는 구동엔진과 추진장치의 중량이 증가되는 경우 경사도 유지등이 어렵기 때문에 선미구동장치나 워터젯추진장치를 추진시스템으로 이용하면 구동엔진과 추진장치가 종래의 선내기에 비해 훨씬 고속으로 운전되어 중량을 1/3이하로 가볍게하고 25노트 이상 고속화 추세에 적합한 추진장치이므로 향후 연근해 소형어선에서는 대

부분 이들 신형식 추진장치로 대체될 전망이다.

90년대 중반이후 한국기계연구원에서 개발하여 실용화단계에 접어든 5톤이하의 선박에 탑재가능한 선미구동장치와 워터젯추진장치에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. 추진장치의 구조와 특성

### 1) 선외기

3톤이하의 소형선박에 가장 많이 사용되며 선체의 선미벽에 벽걸이형으로 설치제거가 용이한 구조로 설치면적이 작지만 장치내부에 구동엔진, 감속역전기어, 조향장치, 엔진제어 및 냉각장치를 모두 포함하고 있어 정비유지가 복잡하고 회전수가 5,000~6,000rpm으로 고속이므로 소음·진동 및 내구성 문제가 심각하다. 이것의 외형도는 그림1에 보이는 바와같고 2~4기통을 갖는 4행정 가솔린엔진이 대부분이며 중량을 가볍게 하기위해 본체

표 1 추진장치별 장단점 비교

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

를 알루미늄합금으로 제작하므로 해수에 접촉되는 부분의 부식방지를 위해 특수방청도장을 하고 양극방식을 위해 적정용량의 아연판을 부착한다. 수직구동축에 직결된 엔진은 냉각 펌프로 공급되는 냉각수로 강제 냉각되고 엔진의 구동축 아래쪽의 베벨기어를 거쳐 엔진 출력이 추진기에 전달된다. 추진기축은 Dog Clutch 위치에 따라 전후진 운전이 가능하며 추진기에서 발생하는 추력은 테이퍼 롤러베어링으로, 반경방향 하중은 니이들베어링으로 지지하는 것이 대부분이다. 운전중 추진기가 해상 부유물이나 해저 돌출물에 접촉할 때 구동축계가 치명적으로 손상됨을 방지하기 위해 추진기축에 방진고무를 삽입하거나 부분적으로 축경을 가늘게 하여 비틀림강성을 작게 하여 감쇄효과를 갖도록 하고 있다.

## 2) 엔진직결형 선미구동장치

구동엔진은 선내에 설치하고 추진장치는 선미벽 외부에 설치되므로 선내외기라 부르기도 하며 이것을 구동하는 엔진의 출력은 30~350

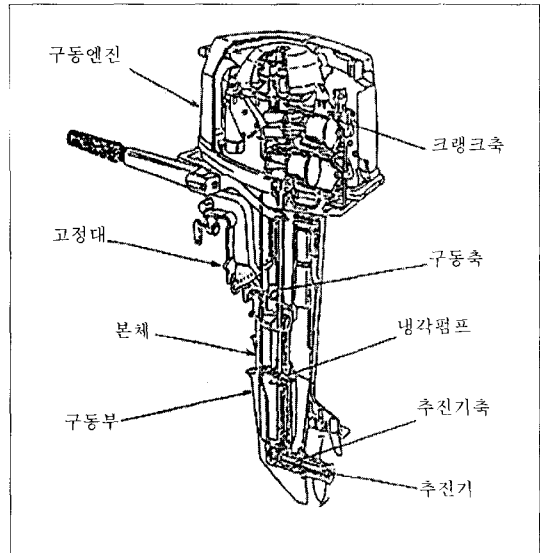


그림1 선외기 구조도

마력 정도이고 가솔린엔진이나 디젤엔진을 선택하는데 제한이 없어지며 좌우현으로 선회할 때 추진기의 추력방향도 동시에 변경되므로 조타성능이 우수하다. 또 수심이 낮은 지역에서는 적절한 각도로 인양(Tilting) 되도록 할 수 있고 내부구조는 그림2에 보이는 바와같이 수직축과 추진기축은 베벨기어로 연결하고 필요에 따라

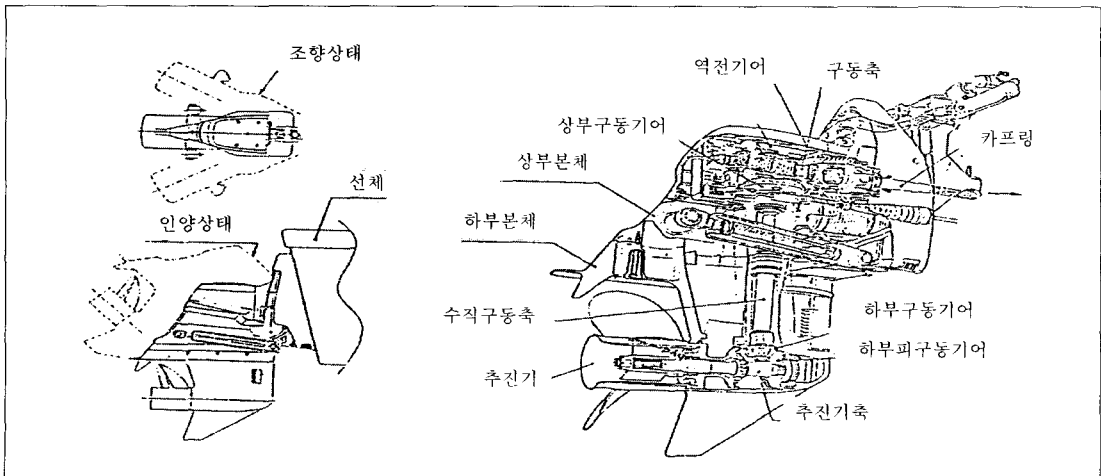


그림2 엔진 직결형 선미구동장치 내부구조

감속시키며 역전장치는 Dog Clutch, Cone Clutch, Hydraulic Clutch 등을 요구사양에 맞추어 선택할 수 있다. 최근에는 엔진의 출력이 높아지고 있어 역전장치의 내구성이나 운전·조작의 편리성을 개선하기 위해 Cone Clutch나 Hydraulic Clutch를 일반적으로 사용한다. 구동축의 중간부를 테이퍼 롤러베어링으로 지지하고 하부 구동기어 가까이 니어들베어링을 설치하여 추진기의 횡방향 하중을 지지하며 베어링이나 감속기어에 윤활유 공급을 원활하게 하도록 수직축에 날개형 임펠러를 부착하기도 한다.

### 3) 유압모터 구동형 선미구동장치

그림3에 보이는 바와같이 구성되는 유압모터 구동형 선미구동장치는 소형선박에 엔진직결형 선미구동장치의 설치방법과 유사하게 추진장치 본체는 선미벽 외부에 부착되고 유압펌프를 구동하는 엔진은 기관실내의 임의의 장소에 유압 배관장치와 함께 비교적 자유스럽게 배치가능한 구조를 갖고 추진장치의 전후진운전이나 회

전속도 변경은 추진장치 상부에 부착된 유압모터를 유압조종밸브를 조작하여 가능하고 좌우현 조향각이나 상하 인양각은 선미벽과 추진장치 사이에 설치된 각각의 유압실린더를 원격제어하므로 운전조작이 신속하고 간편한 특성을 갖고 있다. 고압과 고속회전이 가능하도록 하는 유압시스템의 도입으로 제조원가가 상승되는 요인이 있으나 축배열문제로 인한 축계진동이나 내구성을 개선하고 탄성카프링, 역전장치를 생략할 수 있다.

### 4) 워터젯트 추진장치

저속선의 추진효율은 프로펠러에 비해 떨어지기 때문에 배수량형 선박에는 부적합하고 활주형이나 비교적 고속선에 적합하다. 구동엔진 출력을 100% 활용할수 있기 때문에 양식장작업선과 같이 천수해역에서 운항되는 선박이나 20노트 이상의 고속주행선에 적합하다. 그림4에 보이는 바와같이 선저로부터 유입된 해수를 펌프로 유도하는 흡입덕트, 구동축을 포함한 펌프본체, 조타 및 역전을 위한 분사노즐 및 역전

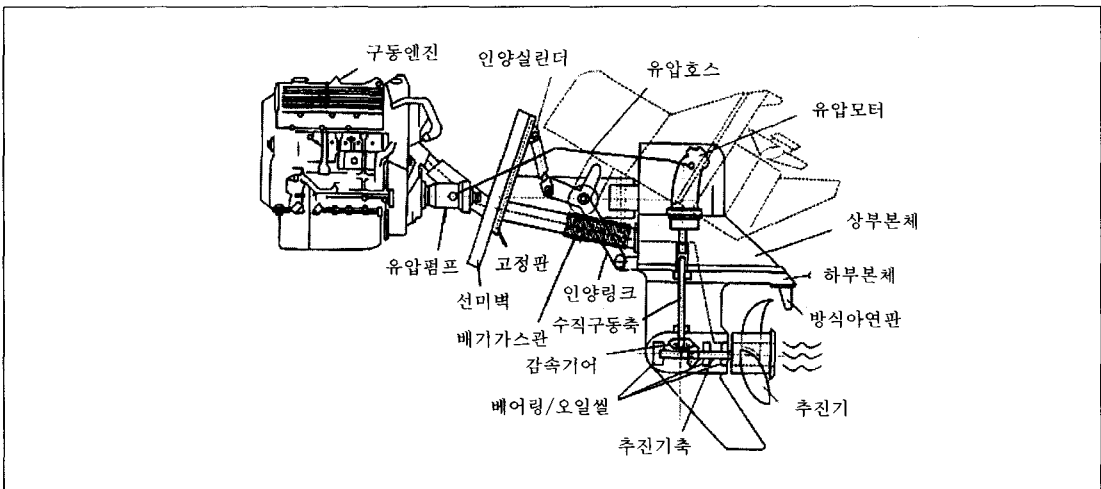


그림3 유압모터구동형 선미구동장치

버킷으로 구성되며 이것을 조종하는 유압장치, 유압시스템을 원격으로 제어하는 제어반은 조타실에 설치한다. 워터젯추진장치는 10~120,000마력 범위로 출력이 다양한 축류, 사류 펌프형이 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.

워터젯 추진장치는 감속기어나 역전크러치가 없이 구동엔진에 직접연결 되므로 축계의 동력전달효율을 개선할수 있고 구조가 간단하여 정비·유지하는데 특별한 훈련이나 주의가 요구되지 않는다. 구동엔진의 과부하운전이나 공회전 발생우려가 없고 임펠러가 토출양정에 해당하는 정압을 유지하는 케이싱으로 둘러싸여 있어 고속으로 회전하더라도 종래의 추진기에서 발생하는 케비테이션이 발생하지 않으며 주요부품으로는 펌프유입구를 갖는 덕트, 스크린,

케이싱과 여기에 결합된 역전, 조향장치 등으로 구성된다. 조향장치는 좌우현 방향으로 분사류를 변환시키는 노즐을 기계적 혹은 유압실린더로 조작하고 역전기능은 역전반사판을 기계적 혹은 유압실린더로 상하조작하여 후진 또는 정지상태를 유지할수 있으며 종래의 프로펠러 추진시스템에서와는 다르게 구동엔진의 속도조절이나 역전크러치의 조작이 필요하지 않기 때문에 편리하고 저속에서도 조향기능이 양호하여 선박의 입출항시 특별한 계류장치를 설치하거나 조작할 필요가 없다. 축류펌프형의 경우에는 유체의 흐름이 대부분 축방향으로 평행하게 유지되며 유입구의 면적이 작고 유량이 비교적 크고 압력과 유속이 낮기 때문에 노즐의 직경이 크고 안내날개의 길이가 짧으며 사류펌프형의 경우는 축방향과 원심방향의 흐름이 혼합되어 혼합류를 발생하는 임펠러를 갖는 데 이것의 구조는 날개 일부에 측벽판이 부착되어 유입된 유체를 원심방향으로 보내고 직경이 큰 부분에서 축방향으로 변환시키며 일부 회전운동을 하는 유체는 안내날개에서 축방향의 추력을 발생시키도록 한다.

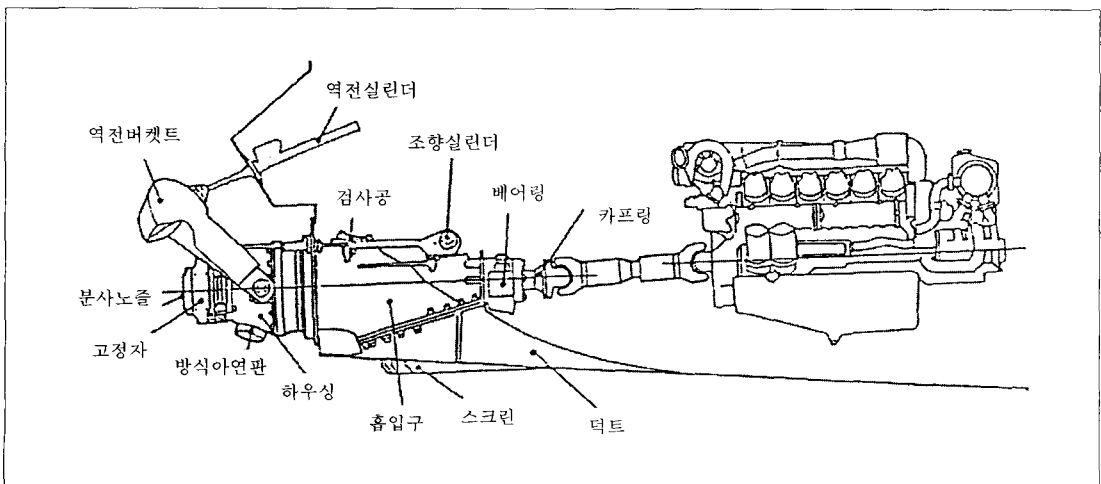


그림4 워터젯 추진장치 구조도

### 3. 시작품 설계 · 제작

#### 3.1 엔진직결형 선미구동장치

##### 가. 개요

구동엔진과 추진기를 별도로 분리하여 설치하는 구조이므로 구동엔진을 선체의 중앙부에 설치할 수 있어 선미측으로 무게중심이 편향되는 것을 어느정도 방지할 수 있는 장점이 있지만 이들사이를 연결하는 연결축이 길어지면 전달효율이 다소 떨어지고 축정렬을 양호하게 유지하기가 어렵기 때문에 일반적으로 유니버어설 조인트나 탄성카프링을 삽입해야 한다. 전후진운전을 위해 역전크럿치를 조작하는데 구동엔진의 속도조종레버가 저속위치에 있을때만 크럿치의 이동이 가능하도록 하고 해상부유물에 부딪혀서 과도한 충격하중 추진장치에 작용하여 파손되는 것을 방지하기위해 고정결쇠를 이탈케 하고 추진장치를 수면상으로 인양할 경우에는 역전크럿치가 중립위치를 유지하여 추진기가 공회전하는 것을 방지하는 안전장치를 설치하였다. 추진장치의 본체에 해당하는 기어박스내에는 구동축,

역전크럿치, 수직축, 감속기어, 추진기축, 지지베어링, 밀봉셀 등이 조립되며 내부공간에는 윤활유로 충진되는데 이들 부품을 용이하게 분해조립할 수 있도록 하기위해 기어박스를 상부와 하부로 분할하고 볼트로 조립되는 구조로 하며 탑재되는 선박의 설치조건에 따라 추진기축과 구동축 사이의 거리를 조절할 필요가 있을때는 상하부기어박스 사이에 임의길이의 기어박스와 수직축을 삽입하는 경우도 있다. 추진기 감속기어박스의 폭을 보다 좁게하여 유체역학적 저항을 개선하기 위해 크럿치에 연결되는 상부기어박스에서 요구되는 감속비를 발생시키도록 하고 하부기어박스의 추진기축이 설치되는 보스부는 추진기축, 베어링, 베벨기어, 밀봉셀의 분해조립이 용이하도록 분할되며 볼트조립이 가능한 구조로 하고 있다. 본연구에서 개발을 위해 선정한 엔진직결형 선미구동장치의 제작사양은 표2에 보이는 바와같다.

##### 나. 주요부품 설계

###### 1) 수직구동축과 추진기축

구동장치의 동력전달축 가운데 역전크럿치가

표2 엔진직결형 선미구동장치 제작사양

항 목	제 작 사 양
탑재대상 선박	1.27m <sup>3</sup> , 5.1 x 1.6 x 0.8m, C <sub>B</sub> =0.622, V <sub>s</sub> =22knot
구 동 엔 진	60ps x 4,000rpm, 수냉식 디젤엔진, 250kg
사 용 재 질	AC4C(본체), SF55(축계), SUS316(추진기)
감 속 장 치	스파이럴 베벨기어, 감속비 1.92
역 전 장 치	Dog 내장형, 30mm(행정)
조 종 범 위	경사각 12° ± 5°, 조향각 ± 25°, 인양각 55°
외 형 치 수	L525 x B300 x H852mm
중 량	43kg, 0.72/kg/ps

설치되는 수평구동축은 길이가 짧지만 수직구동축은 지지점 사이의 길이가 길고 양단에 베벨기어가 부착되어 있으며 프로펠러축은 수직구동축 보다는 길이가 짧으나 중량이 2.75kg인 비교적 무거운 추진기가 외팔지지된 상태에서 회전하므로 이들의 구동력과 진동에 의한 부가하중이 감안된 적절한 직경을 계산하려면 다음과 같이 간단한 경험식(KR 및 IACS 통일규정)을 이용한다.

$$d = F \cdot K \cdot \{560P / \{N(1-n^4) (\sigma + 160)\}\}^{1/3} \quad (1)$$

$$\tau_m = 364758(P/Nd^3) : \text{수직구동축} \quad (2)$$

$$\tau_m = 364758P \times (1+\alpha) / \{(1-n^4)d^3\} : \text{추진축} \quad (3)$$

$$\sigma_c = 1.273T / \{(1-n^2)d^2\} \quad (4)$$

$$S_{cr} = \{\sigma_c^2 + 4\tau_m^2\}^{1/2} : \text{추진축} \quad (5)$$

여기서

d : 축의 최소직경(mm)

n : 축 외경에 대한 내경비(중실축 일 때 n=0)

F : 구동엔진의 종류에 따른 계수(디젤엔진 스텝형 카프링 일 때 F=95)

K : 축 설계특성에 대한 계수(K=1.0)

N : 축의 정격 회전수(N=2,500rpm)

P : 구동엔진의 정격 출력(P=29.4kw)

$\sigma'$  : 축재질의 인장강도( $\sigma' = 600\text{N/mm}^2$ )

$\tau_m$  : 축에 부가되는 평균 전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 부가 토오크 계수(디젤선 0.1, 터빈선 0.2)

$\sigma_c$  : 압축응력(kg/cm<sup>2</sup>)

T : 추진기 추력(kg),  $T = 75P \times \eta_p / V_s$ , 추진 효율  $\eta_p = 0.7$ , 선속  $V_s$ (m/s)

$S_{cr}$  : 추진기 정상최대 전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)

선미구동장치의 운전조건을 감안하여 윗식으로부터 수직구동축과 추진기축의 직경 및 안전계수는 표3에 보이는 바와같이 직경은 각각 22, 30mm이고 안전율은 6.4, 6.1로 계산되었다. 여기서 전단응력 허용치는 Von Mises 경험식을 이용하여 최대허용 인장응력으로부터 구한 것이며 추진기축의 안전계수 계산을 위한 전단응력 계산치는 Soderberg 경험식 가운데 진동에 의한 피로응력은 무시되었으며 허용 안전계수는 수직구동축 1.75, 추진기축 2.0으로 하였다.

이들 축은 비교적 고속으로 회전하므로 운전 중 위험속도가 존재하는지 여부를 검토한바 수직구동축과 추진기축의 위험속도는 각각 13,072rpm과 6,081rpm이므로 연속최대회전수로 사용하는데 지장이 없다고 판단되었다. 대상축의 진동계산모델은 수직구동축의 경우 양단에 베벨기어가 부착되고 기어 가까이 베어링이 지지되며 추진축은 두 개의 지지베어링 사이에 베벨기어가 부착되고 자유단에 추진기가 외팔지지되는 구조를 취하였다.

2) 추진기

탑재선의 배수량  $\Delta = 1.27\text{m}^3$ , 방형계수  $C_B = 0.622$ , 선속  $V_s = 22\text{knot}$ , 추진기 회전수

표3 축 직경과 안전율

구 분	축직경(mm)		전단응력(kg/cm <sup>2</sup> )		안전계수
	계산치	설계치	계산치	허용치	
수직 구동축	21.5	22	550	3,530	6.4 > 1.75
추진기 축	25.3	30	574	3,530	6.1 > 2.0

$N=2,083\text{rpm}$ , 전달마력  $P=60\text{ps}$  일 때 Van Lammeren식으로부터 추력계수  $t$ , 반류계수  $w$ , 전진속도  $V_A$ , 출력계수  $B_p$ 를 구하면

$$t = C_B - 0.15 \quad (6)$$

$$w = 3C_B/4 - 0.24 \quad (7)$$

$$V_A = (1-w)V_s \quad (8)$$

$$B_p = NP^{0.5}/V_A^{2.5} \quad (9)$$

으로부터  $t=0.161$ ,  $w=0.226$ ,  $V_A=17.0\text{knot}$ ,  $B_p=15.34$  이며 전달마력이 250ps 이므로 날개수 3개, 전개면적비 0.5인 aerofoil형 단면의 추진기(N-AU3-50)를 선택할 경우  $\sqrt{B_p}$ - $\delta$ 곡선으로부터 직경계수  $\delta_0$ 와 핏치비  $H/D$ 를 구하면  $\delta_0=46$ ,  $H/D=0.88$  이고 이를 이용하여 추진기 직경  $D_0$ , 핏치  $H$  및 추진기효율  $\eta_0$ 를 구하면  $D_0=0.375\text{m}$ ,  $H=0.33\text{m}$ ,  $\eta_0=0.71$ 이다.

### 3) 구동엔진 냉각기

구동엔진의 냉각계통은 그림5에 보이는 바와 같이 냉각청수는 청수펌프로 엔진과 청수냉각기를 순환시키고 크랭크케이스에 고인 윤활유는 윤활유펌프로 윤활유냉각기를 거쳐 엔진의 베어링과 활동부로 강제순환시키며 여기서 발

생된 열량을 제거하기 위해 선저의 관통구를 통하여 유입된 해수를 해수펌프로 윤활유냉각기, 청수냉각기, 배기다기관을 거쳐 선외로 배출되도록 하였다.

냉각청수와 윤활유의 냉각기는 대항류형으로 하고 해수가 원통관관에 조립된 냉각관 내부를 흐르게 하며 냉각관 외부에 청수나 윤활유가 접촉되도록 하였다. 냉각기 셸은 주철재, 냉각관과 양단 조립판은 황동과 인칭동 재질을 선택하고 냉각관 내외부 유속을 각각 1.5m/s와 0.6m/s로 제한하였다. 냉각관의 핏치와 직경비를 2로하고 셸과 냉각관 길이비를 3정도로 하여 냉각해수의 온도차가 5℃ 이내가 되도록 하였다. 구동엔진의 출력을 60ps 전부하로 운전한다고 가정하여 설계한 냉각기의 주요치수는 표4와 같다.

### 4) 방식아연판

추진장치와 냉각기는 해수에 접촉하여 있으므로 부식을 방지하기 위해 적절한 양극방식용 아연판을 부착해야 한다. 방식아연판이 부착되는 부위에 따라 방식전류밀도(I)가 다른데 일반적으로 선체 20mA/m<sup>2</sup>, 추진기 500mA/m<sup>2</sup>, 추진축 100mA/m<sup>2</sup>, 조타장치 10mA/m<sup>2</sup>, 냉각

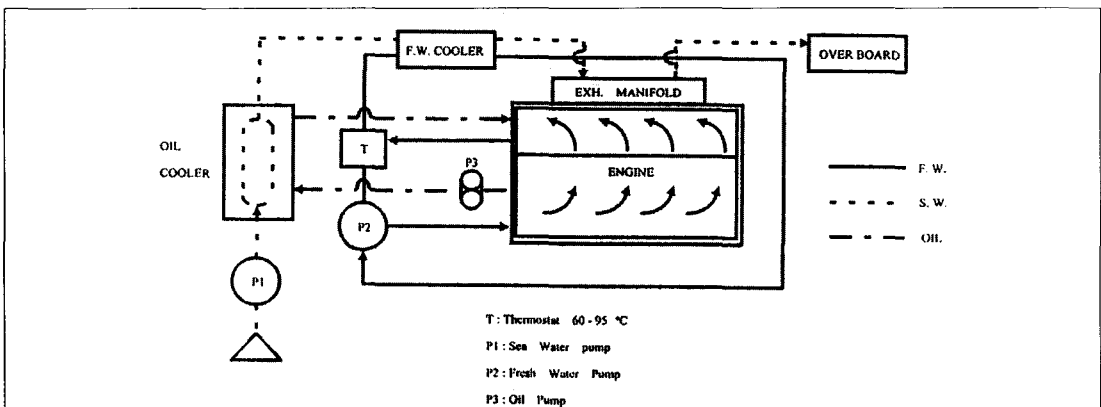


그림5 엔진직결형 선미구동장치 냉각계통



표4 냉각기의 주요치수

구 분	청수냉각기	해수냉각기
전열면적	1.82 m <sup>2</sup>	1.0 m <sup>2</sup>
셀직경/길이	192/570 mm	168/500 mm
냉각관 직경	φ10.2/φ12.7	φ10.2/φ12.7
냉각관 수량	80 ea	50 ea
냉각관 재질	NBsP 1	NBsP 1
냉각 온도차	8.7 ℃	19.8 ℃
해수 온도차	4.2 ℃	1.0 ℃
냉각 열량	4.2 x 10 <sup>4</sup> kcal/h	0.94 x 10 <sup>4</sup> kcal/h
방식 판	φ30 x 22 mm, 2ea	φ30 x 20 mm

기와 추진기 본체 75mA/m<sup>2</sup> 정도이므로 방식 표면적(A)과 아연판의 내구년수(L)를 감안하여 부착되는 아연판의 중량(Wc)을 산정할수 있다. 구조가 복잡한 추진기의 표면적과 아연판 중량을 산정하는 경험식은 아래와 같다.

$$A_p = 1.9D^2a_E \quad (10)$$

$$W_c = 0.0876IABL/C \quad (11)$$

여기서

A<sub>p</sub> : 추진기 표면적(m<sup>2</sup>)

D : 추진기 직경(m), D=0.375

a<sub>E</sub> : 추진기 전개면적비, a<sub>E</sub> =0.5

W<sub>c</sub> : 아연판 중량(kg)

L : 내구년수(년), L=0.5

I : 방식전류밀도(mA/m<sup>2</sup>)

B : 발라스트 율(%), B=80

C : 아연판의 유효전기량(Ah/kg), C=780

이로부터 본체, 추진기, 청수냉각기 및 윤회유냉각기의 해수접촉면적이 각각 0.53, 0.12, 0.5, 0.4m<sup>2</sup> 이므로 방식아연판의 중량은 추진장치 본체 0.18kg, 추진기 주위 0.27kg, 청수냉각기 해수측 0.17kg, 윤회유 냉각기 해수측 0.14kg을 부착한다.

## 3.2 유압모터 구동형 선미구동장치

### 가. 개요

중소형어선의 자동화를 위해 유압시스템이 본격적으로 도입되면서 운전자의 숙련도 향상에 따른 고장감소는 물론 전문제작사의 A/S망 구축과 공급가격의 저하로 선미구동장치를 종래의 엔진직결형으로부터 유압모터로 구동하는 방식을 실용화하는 것이 가능해지고 있다. 엔진 직결형은 구동엔진이 추진기를 회전시키는 추진기축에 클러치와 역전기어를 통하여 연결되고 엔진의 회전속도에 따라 추진속도를 제어할 수 있지만 유압모터 구동형은 크러치와 역전기어가 필요없고 유압모터의 회전속도를 임의로 조절하므로서 추진속도를 어느정도 제어가능하므로 구동엔진을 추진속도에 관계없이 어로장비를 구동하는 동력으로 활용가능하며 구동엔진과 추진장치 사이에 CV 조인트와 같은 구동축이나 카프링이 생략되고 단순히 유압호스가 연결되므로 구동엔진의 설치장소를 임의로 선정하고 인양각의 범위를 70도 이상으로 확대할 수 있는 장점이 있다. 그러나 작동유압이 100기압 이상으로 고압이고 유압탱크, 서어보밸브, 구호밸브, 유준계, 작동유 냉각기 등이 별도로 설치되어야 하는 단점이 있다. 이것의 제작사양은 아래와 같다.

### 나. 주요부품 설계 · 제작

#### 1) 추진장치 본체

중량감소를 위해 재질을 알루미늄(AC4C)으로 선정하고 본체를 상하부로 분리되도록 하고 상부에 유압모터를 설치하며 선미벽 고정판 사이에 상하·좌우방향으로 회전하는 힌지와 유압

표5 유압모터 구동형 선미구동장치 제작사양

항 목	제 작 사 양
탑재대상 선박	1.27m <sup>3</sup> , 5.1 x 1.6 x 0.8m, CB=0.622, Vs=25knot
구 동 엔 진	105ps x 3,600rpm, 수냉식 디젤엔진, 365kg
사 용 재 질	AC4C(본체), SF55(축계), SUS316(추진기)
유 압 펌 프	350kg/cm <sup>2</sup> , 2,200rpm, 0~158 l/min, 28.6kgm, 37.2kg, 피스톤 가변용량형
유 압 모 터	300kg/cm <sup>2</sup> , 3,000rpm, 205 l/min, 22kg, 25.1kgm
제 어 장 치	밀폐형, 원격제어(유압펌프 유량, 조향각, 인양각)
조 종 범 위	경사각 12±5°, 조향각 ±30°, 인양각 85°
외 형 치 수	L638 x B380 x H907mm
중 량	60kg, 0.6kg/Ps

실린더를 부착하고 상하부분체와 추진기축 고정덮개는 볼트로 조립된다. 구동엔진의 배기다기관을 냉각한후 도출되는 해수와 배기가스가 추진장치 상하부분체를 거쳐 추진기 중공부에서 수중으로 배출되도록 하기위해 배기가스 통로를 제작해야한다.

2) 유압시스템

추진기의 회전수를 2,500rpm 정도로 고속운

전하기 때문에 유압시스템은 250기압 이상의 고압을 유지하기 위해 밀폐형으로 하고 펌프와 모터는 피스톤형을 선택한다. 구동엔진의 출력이 100마력급이므로 유압시스템의 기계효율을 감안하여 표5의 유압펌프와 모터이외에 그림6 및 표6에 보이는 유량조절밸브, 전자밸브, 순환 펌프, 여과기, 유냉각기 등을 선정하고 추진장치의 조향각과 인양각을 원격제어하는 유압시스템은 그림7 및 표7에 보이는 바와같이 추진장치

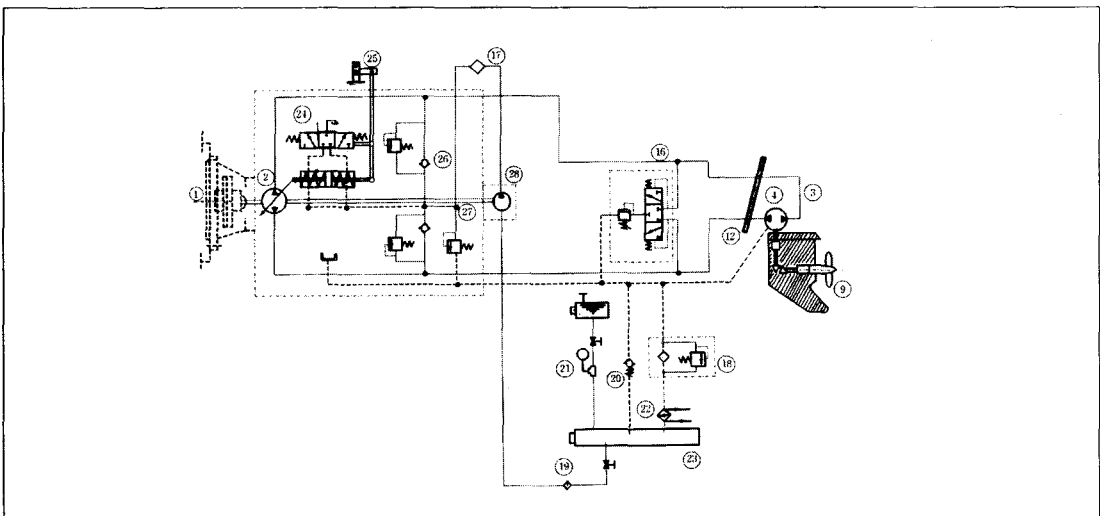


그림6 연근해 어선용 신형식 추진장치 개발

표6 유압모터 구동제어 유압시스템 구성부품

번호	품명	번호	품명	번호	품명
1	구동엔진	17	여과기	24	유량밸브
2	유압펌프	18	여과기	25	조종레버
3	유압호스	19	여과기	26	역지밸브
4	유압모터	20	역지밸브	27	구호밸브
9	추진기	21	레벨스위치	28	순환펌프
12	선미벽	22	냉각기		
16	후러싱밸브	23	저장탱크		

구동을 위한 유압시스템과 별도로 구성한다.

유압펌프와 유압모터의 토출용적( $V_h$ ) 계산식은 식(12)에 보이는 바와 같다.

$$V_h = 2\pi T_h / P_m \quad (12)$$

여기서

$V_h$  : 유압펌프, 모터의 토출용적( $m^3$ )

$T_h$  : 구동엔진의 최대토크( $kg \cdot m$ )

$P_m$  : 작동압력( $kg/cm^2$ )

구동엔진의 회전수가 2,500rpm일 때 발생하는 최대토크  $T_h = 30kg \cdot m$ , 작동압력  $P_m = 3.5 \times 10^6 kg/m^2$  이므로 식(12)에서 토출용적  $V_h = 53.9 \times 10^{-6} m^3 \approx 55cc$  임을 알수 있다.

표7 원격제어 유압시스템 구성부품

번호	품명	번호	품명	번호	품명
13	인양각 실린더	36	조향링크	41	인양펌프
32	조향핸들	37	작동유 탱크	42	흡입여과기
33	조향펌프	38	안양역지 밸브	43	충격부하 구호밸브
34	역지밸브	39	직류모터		
35	조향각 실린더	40	인양 구호 밸브		

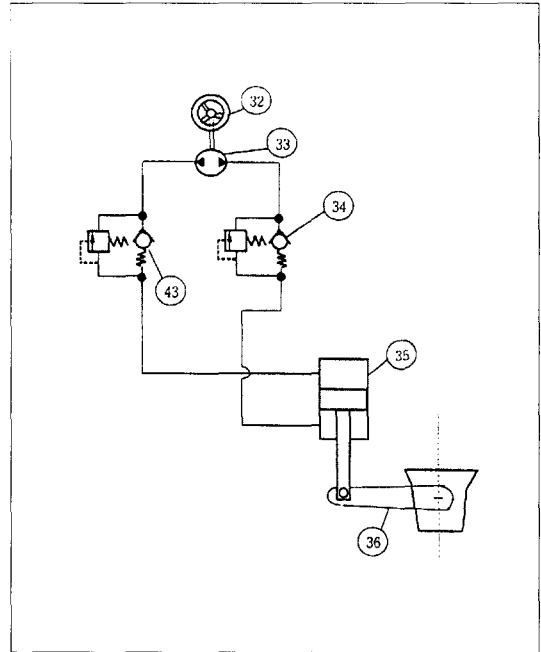


그림7(a) 조향각 원격제어 유압시스템

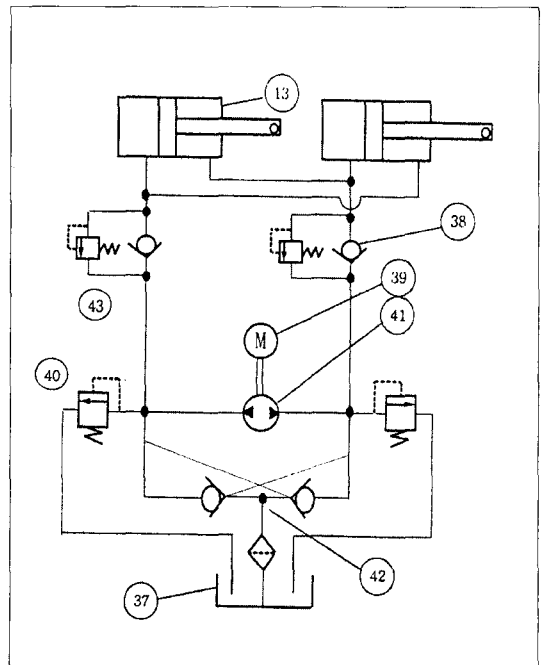


그림7(b) 인양각 원격제어 유압시스템

### 3) 냉각 및 배기가스 배출시스템

밀폐된 기관실내에 설치된 구동엔진의 냉각수와 윤활유 및 배기가스를 효과적으로 냉각하고 배기축진에 의한 연소상태를 개선하며 배기소음을 낮추고 정격출력으로 연속운전시 배기관외의 과열상태를 방지하도록 하는 냉각계통과 배기가스 배출시스템을 그림8에 보이는 바와같이 구성하였다. 구동엔진의 냉각계통은 엔진직결형 선미구동장치와 유사하나 배기다기관에서 냉각해수와 혼합하여 배출되는 배기가스는 온도가 100℃ 이하로 낮아져서 추진장치 본체를 거쳐 추진기의 중공부에서 해수중으로 배출되도록 하면 정상운전중에는 추진기 중심부에 부압이 발생하여 배기가 축진되고 수중에서 배기가 배출되므로 배기소음이 대폭감소된다.

비속도  $N_s=1,200\sim 2,200$ 인 비교적 토출용량과 양정이 작고 회전수가 고속인 축류펌프라 할 수 있다. 이것을 선미구동장치를 설치하는 방법과 유사하게 선미부에 구동엔진과 직결된 워터젯트를 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 알미늄합금이나 FRP로 하여 경량화하는 것이 매우 중요하다. 재질을 합성수지재로 하는 경우에는 해수접촉에 의한 부식문제가 제거되므로 최근에는 소형 워터젯트 추진장치의 본체, 역전버킷트 및 노즐 등 대부분의 구조물을, 중대형 워터젯트추진장치의 경우는 덕트를 FRP로 제작하고 있다.

### 3.3 워터젯트 추진장치

#### 가. 개요

5톤이하의 소형선의 경우 전양정이 7m이하이고 유량이 풍부하여 저속에서도 추력이 크게 나타나는 축류펌프형 워터젯트를 많이 사용한다. 구동엔진의 출력이 500마력이하인 경우

추진장치는 선미벽을 사이에 두고 선내에 덕트, 흡입스크린 및 임펠러 구동축으로, 선외에 고정자하우징, 분사노즐, 역전버킷트 및 유압실린더로 구성한다. 탑재선의 운항상태에 따라 분사노즐의 직경이나 임펠러 날개끝 간극을 조절할수 있는 구조로 제작하며 이들의 제작사양은 표8에 보이는 바와같다.

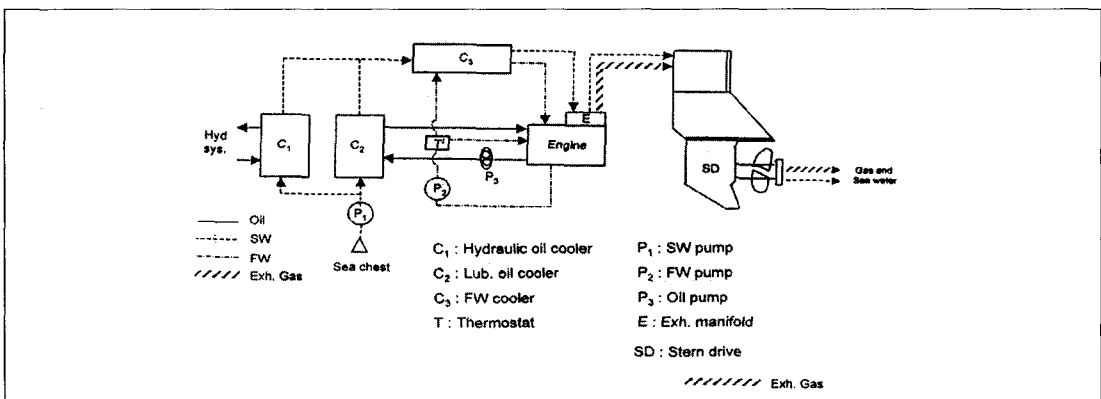


그림8 냉각계통 및 배기가스 배출시스템

## 나. 주요부품 설계

본 연구에서 개발코자 하는 500마력급 워터젯 추진장치의 형식은 익수형 덕트, 전치 동익형 축류펌프로 하고 설치가 용이하도록 선미벽 부착형을 채택하였다. 그림9에서 탑재선의 크기를 구하면 전장이 9.5m 정도인 FRP재 활주형인 고속선으로 주행속도를 25knot라 할 때 탑재선의 크기는 8톤급으로 추정된다. 이와같은 구동축과 임펠러, 덕트, 고정자 하우싱, 역전버킷트, 지지베어링, 밀봉셀, 유입구 스크린 이외에 원격제어 조향 및 역전장치를 들수 있다. 임펠러와 구동축계를 제외한 대부분의 주요부품을 FRP재로 성형·제작하고 축계와 임펠러는 내식성이 강한 스테인레스강을 선택하였다. 이렇게 하여 결정된 워터젯 추진장치의 사양은 표8에 보이는 바와같다.

### 1) 임펠러/노즐

회전수  $N=3,500\text{rpm}$ , 비속도  $N_s=1,500(\text{m}^3/\text{min}, \text{m}, \text{rpm})$ , 날개수  $Z=4$ 인 임펠러의 외경  $D_o(\text{mm})$ 와 분사노즐의 내경  $d(\text{mm})$ 를 계산하기 위해서는 펌프의 전양정  $H(\text{m})$ , 토출량  $Q(\text{m}^3/\text{min})$ 를 구해야한다. 선박의 주행속도  $V_s=25\text{knot}=12.9\text{m/s}$ , 주행속도

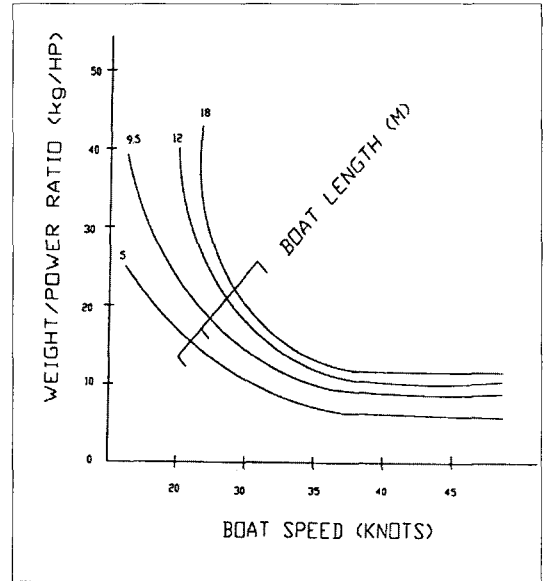


그림9 소형고속선의 속도-선박중량 곡선

에 대한 분출속도비  $V_j/V_s=2.0$ , 추진장치의 추진효율  $\eta_j=0.6$ , 분사노즐효율  $\eta_n=0.97$ , 최적노즐 직경비  $d/D_o=0.6$ , 확산계수  $k=0.075$ , 내부의 마찰손실계수  $\Delta h=0.2$ 라 할 때

$$H = V_j^2 / (2g\eta_n) - (1-k)V_s^2 / (2g) + \Delta h + h_L \quad (13)$$

$$h_L = 0.325V_s^2 / (2g) \quad (14)$$

$$Q = N_s^2 H^{3/2} / N^2 \quad (15)$$

표8 워터젯 추진장치의 제작사양

항 목	제 작 사 양
대 상 선 박	배수량 : 8톤급, 선속 : 25knot
구 동 엔 진	500ps x 3,500rpm, 수냉식 디젤엔진
발 생 추 력	FRP(본체), SUS316(축계, 추진기)
펌 프 형 식	횡축 축류형, 4익형, 엔진 직결구동
비속도/효율	$N_s=1,500$ , $\eta_p=0.78$ (목표치)
조향각/설치각	좌우현 $30^\circ$ , 설치각 $5^\circ$ , 역전분출각 $150^\circ$
제 어 방 식	조향 및 역전버킷트 원격 유압식 제어

여기서 선박주행으로 인한 손실양정  $h_L = 2.8\text{m/s}$ , 분출속도  $V_j = 2V_s = 25.8\text{m/s}$  이므로 전양정  $H = 30.2\text{m/s}$ 이고 토출량  $Q = 30.5\text{m}^3/\text{min}$ 임을 알 수 있다. 이렇게하여 구해진 전양정(H)과 그림10에 보이는 비속도( $N_s$ )와 속도계수( $K_u$ )와의 관계곡선을 이용하여 임펠러의 외경  $D_o$ 를 구하면

$$D_o = 60K_u(2gH)^{1/2}/(\pi N) \quad (16)$$

으로부터 비속도  $N_s = 1,500$ 일 때 속도계수  $K_u = 2.0$ 이므로 임펠러 외경  $D_o = 266\text{mm}$ 이고 노즐직경  $d = 160\text{mm}$ 임을 알 수 있다.

참고로 분사노즐에서 발생하는 추력  $T_j$ 는 노즐의 분출속도와 유량을 이용하는 방법과 구동마력과 주행속도를 이용하는 방법을 비교하여 추산할 수 있다.

$$T_{jth} = \eta_m \rho Q V_j \quad (17)$$

$$T_{jex} = P/(2.3V_s) \quad (18)$$

여기서

$T_{jth}$ : 이론적 추력계산치 (kgf)

$T_{jex}$ : 경험적 추력계산치 (KN)

$\rho$ : 해수의 밀도 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^3$ ),  $= 102.04$

$P$ : 구동마력 (kw),  $P = 373$

$V_s$ : 주행속도 (m/s),  $V_s = 12.9$

위식을 이용하여 계산된 분사노즐에서 발생된 추력은  $T_{jth} = 1,298\text{kg}$ ,  $T_{jex} = 12.57\text{KN} = 1,283\text{kg}$  이므로 상호 유사한 결과를 얻었다.

## 2) 고정자 하우징

고정자의 내경은 임펠러 외경보다 날개끝 간극인 0.5mm만큼 크게하여  $D = 0.276\text{mm}$ 로 하고 안내날개가 부착되는 보스부 직경은 임펠

러 내경과 같게 한다. 펌프출구 하우징 직경이 임펠러 직경과 같게하고 그림11을 참고하여 임펠러 내경을 구하고 고정날개의 주요치수를 계산한다.

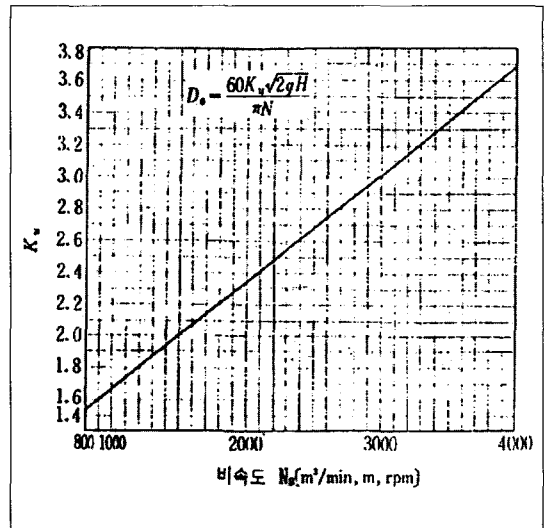


그림10 비속도와 속도계수와의 관계

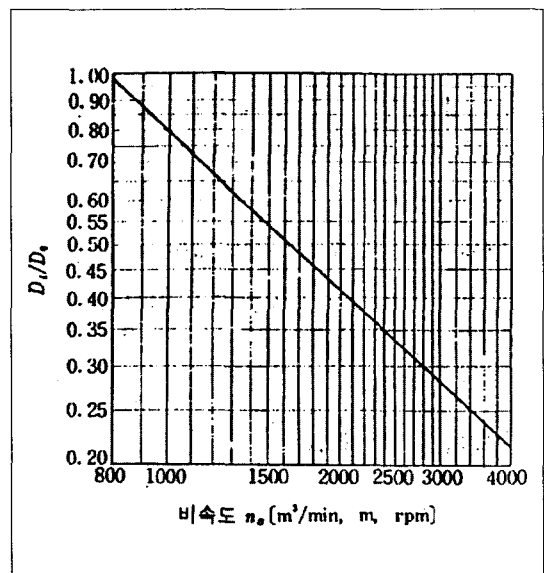


그림11 비속도와 보스비의 관계

$$v_m = (Q/60)/\{(\pi/4)D_o^2(1-v^m)\} \quad (19)$$

$$v_{2u} - v_{1u} = gH/(\eta_p/u) \quad (20)$$

$$\beta' \infty = \tan^{-1}\{v_m/(v_{2u}/2)\} \quad (21)$$

$$v' = \pi D/Z \quad (22)$$

여기서

$v$  :  $D_i/D_o$  임펠러 보스비,  $v=0.53$ (그림10 참조)

$v_{2u} - v_{1u}$  : 원주방향 유속증가(m/s)

$\eta_h$  : 수력효율(=0.9~0.97)

$u = \pi D_o N/60$  : 원주속도(m/s),  $u = 48.8\text{m/s}$

$\beta' \infty$  : 상대유속각( $^\circ$ )

$v_m$  : 축방향 유속(m/s)

$l'/t'$  : 날개간격비(=1.5)

$l'$  : 익현길이(m)

$t'$  : 고정날개 간격(m)

$Z'$  : 고정날개 수

원주속도  $u=48.7\text{m/s}$ , 보스비  $v=0.53$ , 날개간격비  $l'/t'=1.5$ , 수력효율  $\eta_h=0.92$ , 초기 원주방향유속  $u_{1u}=0$ 일 때 축방향 유속  $v_m=12.8\text{m/s}$ , 원주방향 유속증가  $v_{2u}-v_{1u}=6.6\text{m/s}$ , 날개수  $Z'$ 는  $Z$ 보다 많고 서로 소가 되도록 선정해야 하므로  $Z'=9$ 로 하였다.

상기식에 이들 계산치를 대입하면 상대유속각  $\beta' \infty=75.6^\circ$ , 날개 간격  $t'=97\text{mm}$ , 익현길이  $l'=145\text{mm}$ 로 하였다.

#### 다. 추진장치 본체 성형

FRP성형을 위한 덕트, 고정자 하우싱의 목형을 각각 선저조립베드, 선수부 베어링지지대, 상하 로우프 감김방지판(rope guard)과 선미베어링 하우싱, 안내날개 하우싱, 하우싱 외통, 안내날개로 4분할하여 제작하였다. 각각 분

할제작된 1차성형물은 목형제거후 상호접착하여 설계치보다 약간 여유있게 성형하는 방법을 선택하였다. 형상이 복잡한 안내날개와 로우프 감김방지판은 전술한 목형을 중자(core)로 하여 FRP성형을 위한 석고몰드를 이용하였다. 이들 목형이나 석고몰드의 FRP 접촉면은 수지재가 잘 분리되도록 이형재를 도장하였으며 경화시 발열량 감소를 위해 경화시간이 일반적인 이형재의 1/2 정도로 짧은 시간에 경화되게 경화촉진제를 혼합(1%)하여 경화기간중 발열로 인해 FRP재(초 내식용 비닐에스텔계)가 목형으로부터 분리되는 것을 방해하지 않도록 개선하였다. 목형을 이용한 FRP몰드(Iso-Butyle 산계 PVA)는 두께를 1mm정도로 얇게 하여 성형한다. 이때에 사용되는 유리섬유는 0.1mm 정도로 얇은 두께이며 15분 정도 경과 후 어느정도 경화가 완료되면 목형으로부터 FRP몰드를 분리시키는데 두께가 너무 두꺼우면 발열은 물론 신축성이 떨어져서 양호한 형태의 성형물을 얻을수 없다. 여기서 사용한 수지는 내식성, 내압성 및 내마모성을 적절하게 유지하고 있는 폴리에스텔계 Polystar 98.5%, 경화촉진제 0.5%, 경화재 1% 비율로 혼합하고 유리섬유재를 목형으로부터 성형한 FRP몰드에 회전수 7~30rpm의 속도로 회전하면서 적층 및 혼합수지 도포작업을 반복하여 설계치수에 이를때까지 성형하고 경화가 완료된후 기계가공 하였다. 구성부품의 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 35HB, 비중 1.1 정도이다. 워터젯트 시제품 제작을 위한 FRP 성형공정은 그림12에 보이는 바와같다.

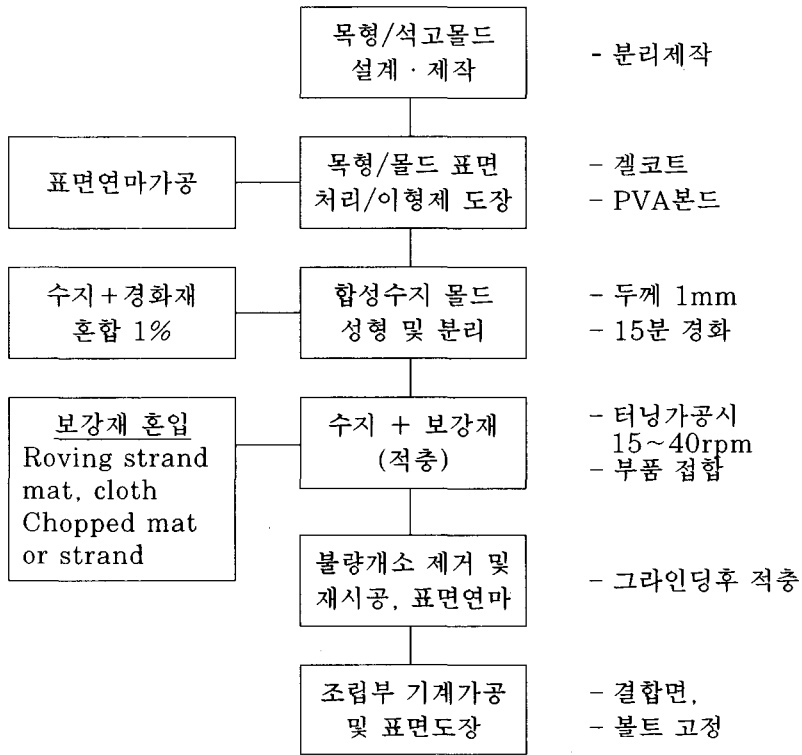


그림 12 위터젯트 본체 FRP성형공정

## 4. 시작품 성능시험

### 나. 시험결과

### 4.1 선미구동장치

그림14에서와 같이 탑재선에 설치한 상태로

#### 가. 성능시험기준

그림13에 보이는 선미구동장치  
의 시작품에 대한 성능확인을 위  
해 별도의 선급규정이나 정부기관  
의 시험기준은 없기 때문에  
SOLAS기준에 의한 구명정의 선  
외기 성능시험기준을 적용하면 아  
래와 같다.

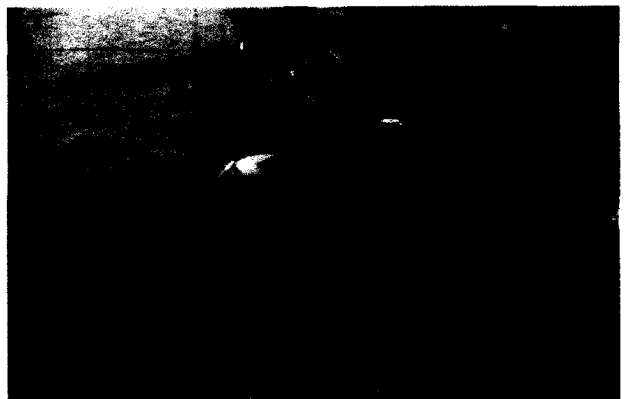


그림13 선미구동장치의 시작품



수조에서 상기 성능시험기준에 의거 시험한 결과 양호하였으며 내수면 호수에서 주행시험을 하였던바 계산된 추진기를 부착한 상태에서는 선속이 정상운전중에 24노트 정도로 운전이 가능하였으며 역전기어, 원격조향장치의 작동상태와 추진기축 밀봉셀의 유밀상태가 양호하였다.

표9 선미구동장치 성능시험 방법 및 판정기준

시 험 방 법	판 정 기 준	비 고
1. 무부하 저속운전시험 연속최대 회전수의 1/2이하의 회전수로 10분간 운전	운전중 작동상태, 동력전달장치의 크렛치 위치에 전환이 원활	원칙적으로 수조에서 시행
2. 무부하 고속운전시험 무부하상태로 연속최대 회전수의 1/2이하의 회전수로 부터 최대 회전수의 120% 이상의 회전수 수까지 10초간 6회 반복운전	각부의 발열상태, 진동상태에 이상이 없을것	수조에서 시행
3. 전부하시험 운전가능한 속도범위에서 성능측정	운전상태가 원활하고 여러 가지 성능에 이상이 없을것	소형선박 선미재에 준함
4. 최저속도 운전시험 크렛치를 연결하고 운전가능한 최저속도로 10분간 운전	운전이 원활할것	원칙적으로 수조에 시행
5. 역전장치 조작시험 무부하로 100회이상 조작하고 그후에는 연속최대출력의 75% 부하로 30분 운전	조종성 검사후 역전장치의 각종성능확인	역전장치가 있는 경우에 한함
6. 내구시험 내구성을 확인하기 위해 연속최대회전수로 반복응력이 10회에 상당한 시간 또는 50시간 가운데 긴시간 운전	각종 성능을 확인하여 내구성 여부판단	
7. 급가속시험 구동엔진의 속도를 무부하로 최저회전수에서 연속최대회전수의 110%까지 증가속을 100회 반복하되 1사이클은 15초를 표준	운전이 원활할것	
8. 개방검사 상기시험을 완료후 개방검사	이상마모나 결함이 없을것	

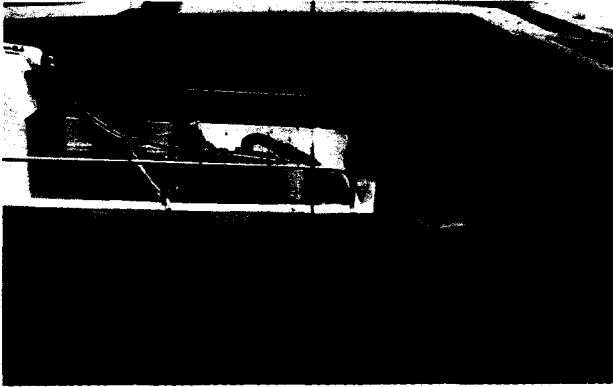


그림14 수조내에서의 선미구동장치 내구성시험

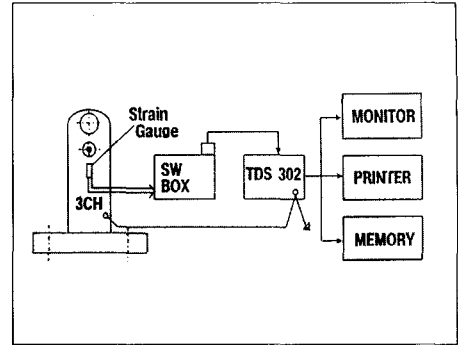


그림15 추력측정시스템의 구성도

#### 4.2 워터젯트 추진장치

시작품을 육상 간이시험수조에서 성능을 확인하기 위해 시작품의 분사노즐과 역전버켓트 주위에 힌지형 반사판과 신호증폭기(Tokyo Sokki, TDS302)와 연결하여 사용되는 추력측정용 스트레인 게이지를 그림15와 같이 제작하여 분사노즐과 역전버켓트 출구에서 1m 거리에 분사각 0°, 30°, 160°인 위치에 설치하고 수조의외부에 구동엔진과 증속기를 설치한 모델시험장치를 그림16와 같이 구성하였다. 추진장치의 회전수와 분사각도에 따른 추력을 측정하였던 바 분사각이 0°인 경우 회전수가 증가함에 따라 1/3승에 비례하는 경향을 보였으며 분사각이 30°와 160°(역전시)인 경우 분사각이 0°인 경우에 비해 각각 10%, 40% 정도 추력감소가 발생하였다. 실선탐재시험을 위해서 구성되는 측정시스템의 구성도는 그림17에 보이는 바와 같다. 시작품을 탑재코자 하는 대상선

박이 당초 8톤급이었으나 사정이 여의치 않아 실선시험을 통한 성능분석 측정치와 계산치를 비교할 수 없었다. 참고로 2.5톤선박에 탑재된 시작품의 외형도를 보이면 그림18과 같다.

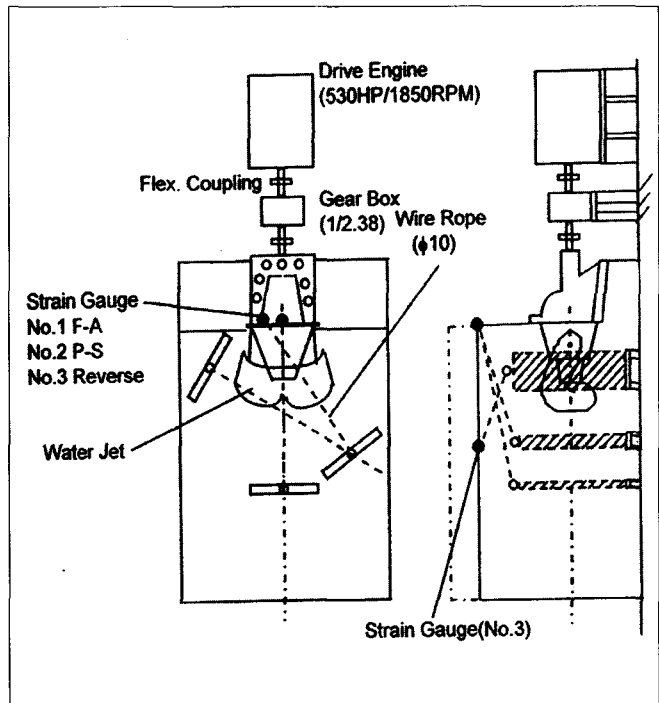


그림16 추진장치의 모델시험장치

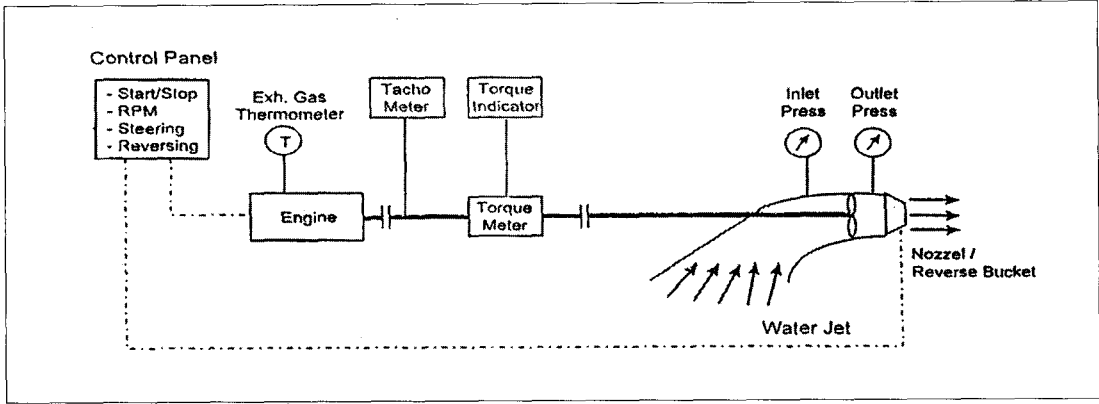


그림 17 실선탐재시험을 위한 측정시스템

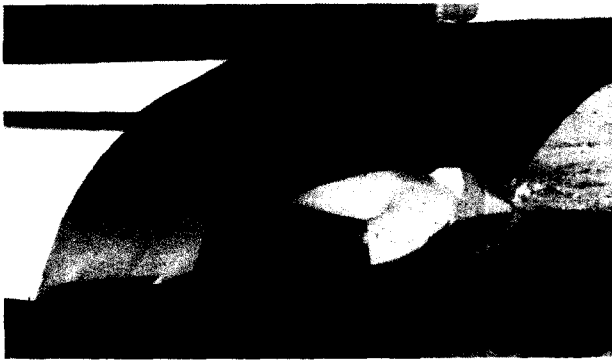


그림 18 시작품의 실선탐재상태

## 5. 결론

국내 5톤이하의 연근해어선의 탑재되는 100~500마력 규모의 추진장치는 1,700대/년 정도이며 이들은 본연구에서 개발된 신형식 추진장치로 대체될 전망임을 감안할 때 계획생산에 의한 제조원가 절감과 수입대체 효과를 극대화하기 위해서는 회전수가 2,500rpm이상인 고속 디젤엔진과 유압시스템의 국산화 추진이 절실하다. 연근해어선의 원거리화와 어획물 신선도 유지를 위해 5톤이하의 소형어선의 주행속도가 25노트 이상으로 고속화하는 추세와 더불어 승

조원 감소 및 노령화에 따른 어선자동화와 내구성향성을 위해서도 신형식 추진장치의 탑재는 필수적이라 할 수 있다. 본연구를 통하여 선미구동장치와 워터젯트 추진장치의 설계·제작기술의 자립화가 가능하고 성능확인을 위한 모델시험기법을 확립하였으며 향후 실선탐재실적이 증가하면 선박소유자로부터 하여금 경제적 운항이 가능한 동력/추진시스템의 선정이 가능하고 공동어로 수역에서 국제분쟁의 요인이 되고 있는

어획강도 조정을 위해서 선형별, 추진장치별, 어선별 최적 추진시스템구성과 동력기관 적정 출력 산정을 위한 표준화작업을 수행할 예정이다. 정부검사기관이나 선급단체에서는 중소형 선박에 탑재되는 추진장치의 성능시험기준 확립이 필요하며 동력기관 제작자는 추진장치의 종류에 따라 적절한 축계배치, 추진장치의 효율 증대를 위해 추진장치 제작자와 긴밀한 기술협력이 필요하며 국내연안의 어로작업특성에 적합한 추진시스템의 구성과 성능확인을 위한 기술개발이 계속되어야 할 것이다.

---

## 參 考 文 獻

1. 전효중, 선박동력전달장치, 태화출판사, 1986
2. 横尾辛一 外, 中小型 船舶 프로ペ라 設計法  
と 參考圖表集, 成山堂, 1973
3. R.P.Gokarn, Tug Propeller Design,  
Marine Technology, April, 1969
4. 한국선급, 선급 및 강선규칙-기관장치, 1977
5. 商工部, 小型船舶 驅動裝置 開發에 關한 研  
究, 한국기계연구원 연구보고서 BSM226-  
1616 · D, 1992. 8
6. 통상산업부, 중형 Water Jet 추진장치 개발,  
한국기계연구원 연구보고서 BSM034-  
356 · M, 1997. 8
7. A.J. Stephanoff, Cenrifugal and Flow  
Pumps, John Willy & Sons Ins., 2edd.  
1948
8. 河在賢 外, 流體機械, 大學圖書, 1979
9. 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
10. Y. Seno, etl, A Blade Theory of an  
Impeller with an Arbitrary Surface of  
revolution, Trans. of ASME, 1972