2. 유체, 열공학, 동력공학 및 기계역학

(3) 특집기사

가변 추진장치의 이해
Controllable Pitch Propeller

김기인
K-I Kim

• 두산중공업(주) 특수사업부 차장
• gikim@doosanheavy.com

전효중
H-J Jeon

• 한국해양대학교 명예교수

김정렬
J-R Kim

• 한국해양대학교 기관시스템공학부
• jrkim@hanara.kmaritime.ac.kr

1. 서 론

일반적으로 선박에 있어서 추진기라 하면 지금까지 개발되어 온 모든 일련의 추진장치를 전부 포함하는 광의의 의미일 것이다. 따라서 현재까지 사용되고 있는 추진기를 분류해 보면 다양한 형태의 추진장치가 소개되고 있으나, 대부분 스크류형과 물 분사형으로 크게 나눌 수 있다. 스크류형 추진기에는 고정날개형 및 가변날개형 등이 있고, 물 분사형 추진기에는 Water Jet형과 Pump Jet형 등이 있다.

본 해설에서는 이러한 여러 형태의 추진기 중 스크류형의 가변날개 추진장치에 대해 현재 사용되고 있는 종류와 특성에 대해 간단히 소개하고자 한다.

가변추진기의 필요성과 장단점에 대해서는 여기서 언급하지 않더라도 이미 널리 알려져 있어 생소한 것만은 아니다. 특히, 1930년대 이후 가변추진기의 등장으로 인해 선박추진기에 있어서 일대 획기적인 혁신을 가져온 것이 사실이다. 즉, 가변추진기는 축계의 회전방향을 전환할 필요가 없고, 엔진의 역회전이나 감속기어 내에 회전방향전환을 위한 역전기어를 둘 필요가 없다. 또한, 엔진의 부하분담이 엔진의 특성곡선에 따라 작동할 수 있으므로 엔진의 단계별 출력에 적합한 부하분배가 이루어짐에 따라 최대효율유지 및 연료절감에 따른 경제적 운항에 도움을 줄 수 있다. 특히, 열악한 해상 상태에서 선박의 기동력 향상으로 인하여 통제능력이 획기적으로 개선되었다.

그러나 초기의 가변추진기는 장치가 복잡하고 고가이며 장비운용과 관련하여 성능유지 및 조종기술의 습득곤란 등 신뢰성 검증이 제대로 되지 않아 선박에 적용하기가 쉽지 않았다. 그래서 가변추진기는 연안 또는 호수를 왕래하는 정기여객선에 제일 먼저 적용되었다. 그 후 가변추진기의 우수성이 널리 알려지면서 특히, 선박의 통제능력의 우수성이 입증되면서 1950년경부터 여러 나라에서 다양한 군함에 적용하였으며, 이 후 상선에까

지 적용하여 오늘에 이르고 있다.

여기서 사용한 용어의 원어는 다음과 같다.

- 강봉 : steel rod
- 기어박스 설치형 : gear box mounting type
- 공급유압 구멍 : supply hydraulic pressure port
- 리턴 오일 : return oil
- 바깥쪽 유압관 : outer oil tube
- 블레이드 디스크 : blade disc
- 밸브 로드 : valve rod
- 밸브 핀 (하우징) : valve pin (housing)
- 안쪽 유압관 : inner oil tube
- 유압 분배기 : oil distribution box
- 유압 작동장치 : actuating unit
- 연료제한위치설정 : fuel rack position set point
- 오일 섬프 : oil sump
- 유압시스템 : hydraulic system
- 유압동력모듈 : hydraulic power module
- 유압방향조절밸브 : directional hydraulic valve
- 이중 유압관 : double oil tube
- 자동피드백구조 : automatic feed back mechanism
- 자동 피치감소시스템 : automatic pitch reduction system
- 작동유 :main supply hydraulic pressure oil
- 작동유 제어시스템 : hydraulic oil control system
- 主서보밸브 : main servo valve
- 중력탱크 : gravity tank
- 전진 오일 : ahead oil
- 전진용 기름구멍 : ahead oil port
- 전진피치 : ahead pitch
- 정압오일 : static oil
- 軸上 설치형 : shaft mounting type
- 칼라 베어링형 : collar bearing type
- 콤비네이터 선도 : combinator diagram
- 크로스 헤드 : cross head
- 트러니언 베어링형 : trunnion bearing type
- 파워 피스톤 : power piston
- 피치각(角) : pitch angle
- 피치각(角) 지시기 : pitch angle indicator
- 피치 제어 매니폴드 : pitch control manifold
- 푸시-풀 로드 : push-pull rod
- 허브 : hub
- 허브 내장형 : 主서보밸브의 hub 내장형
- 허브 외장형 : 主서보밸브의 hub 외장형
- 허브 오일 : hub oil
- 후진 오일 : astern oil
- 후진용 기름구멍 : astern oil port
- 후진피치 : astern pitch

2. 가변추진장치의 종류

현재 개발되어 전 세계적으로 널리 사용중인 가변추진기의 형태는 여러 가지가 있으나, 다음과 같은 두 가지 부류에서 각각 조금씩 변형된 형태이다. 즉, 가변추진기는 일반적으로 기계적 구조에 따른 분류와 유압 분배기 또는 유압 작동장치의 설치방법에 따라 분류할 수 있으며, 대다수의 가변추진기는 광의로 보아 이 두 가지 범주에서 크게 벗어나지 않는다.

2.1 기계적 구조에 따른 분류

2.1.1 칼라 베어링형(collar bearing type)

칼라 베어링형은 **그림1**과 같이 허브 내부의 블레이드 디스크가 칼라형으로 구성되어 있다고 하여 칼라 베어링형 가변추진기라 불리어지고 있다.

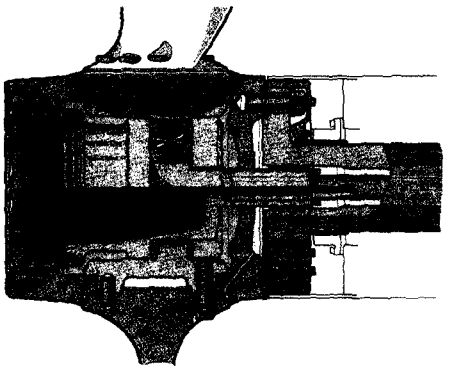
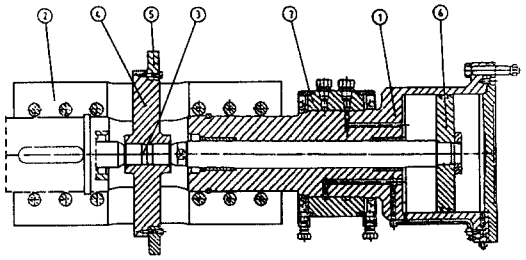


그림 1 칼라 베어링 허브의 내부구조
(主서보밸브의 허브 외장형)

이 형의 기계적 구조는 트러니언형에 비해 상대적으로 단순할 뿐만 아니라 설계 또한 비교적 간단하고 취급이 용이하며 제작비가 저렴하다. 따라서 이 형의 가변추진기는 특수한 목적의 선박 및 일반 선박에 범용으로 적용되고 있으며, 그 종류에 따른 구조적 특성을 살펴보면 다음과 같다.

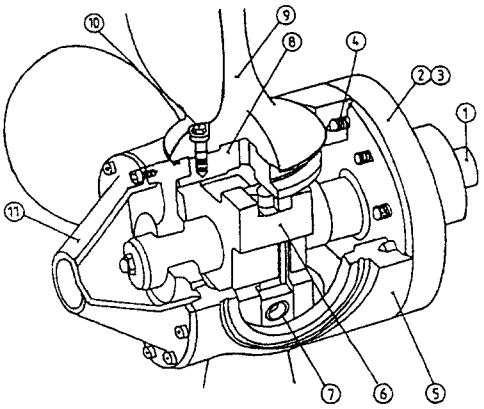
(1) 푸시-풀 로드형(push-pull rod type)

가장 오래된 재래식 가변추진장치이며, 중소형 선박에 적합한 형태의 구조를 가지고 있다. 허브 내부의 기계적 구조는 칼라 베어링형으로서 로드를 크로스 헤드 끝단과 직접 볼트로 고정시킨다. 그리고 축의 중공 부분을 따라 가변추진기 블레이드를 움직이기에 충분한 강도를 가지는 강봉을 설치하여 **그림2**와 같이 유압장치를 통해 이 강봉(push-pull rod)을 밀고 당긴다하여 이를 푸시-풀 로드형이라 한다. 이 푸시-풀 로드는 유압장치를 통해 작동하며, 요구하는 피치각을 얻을 수 있는 제반장치로 구성되어 있다. 특히, 추력이 가장 크게 미치는 전진추력에 대해서는 이 로드가 선미쪽으로 작용하여 프로펠러 피치각을 전진위치로 움직이게 한다. 추력이 비교적 적게 미치는 후진추력에 대해서는 로드가 선수쪽으로 작용하여 이 추력으로 인하여 발생하는 인장력에 대응하게 한다. 그래서 모든 기계적 연결기구의 치수는 합리적인 범위 즉, 최대 전진추력에 견딜 수 있는 범주가 설계의 기준점이 되는 것이다.



① 중간 축(intermediate shaft)
② 분할형 머프 커플링(split muff coupling)
③ 작동 로드 연결체(push-pull rod connection)
④ 요크(yoke)
⑤ 지시 링(indicator ring)
⑥ 파워 피스톤(power piston)
⑦ 유압 분배기(oil distribution box)

그림 2 푸시-풀 로드형의 유압 분배기 및 파워 피스톤 내부 구성도



① 푸시-풀 로드(push-pull rod) ② 축 플렌지(shaft flange)
③ 축 플렌지 커버(shaft flange cover)
④. 축 플렌지 볼트(shaft flange bolt)
⑤ 허브 몸체(hub body) ⑥ 크로스 헤드(cross head)
⑦ 슬라이딩 슈(sliding shoe)
⑧ 크랭크 핀 링(crank pin ring) ⑨ 날개(blade)
⑩ 날개 볼트(blade bolt) ⑪ 후면 덮개(after cover)

그림 3 푸시-풀 로드형의 허브 내부구성도

이해를 돕기 위해 이 푸시-풀 로드형은 **그림3**과 같이 중공축을 통하여 로드가 직접 크로스 헤드에 연결되고 파워 피스톤에 의한 직선운동이 프로펠러 블레이드를 회전운동으로 바꾸어 일정한 블레이드 피치각을 얻는 것이다. 主서보밸브 내, 외장형 가변추진장치는 간접 작동방식임에 비해 푸시-풀 로드형은 직접 기계작동식이라고 할 수 있다. 따라서 이 형은 어선, 연안 여객선 및 중소형 경비정 등 저출력 동력기관을 사용하는 선박 즉, 통상적으로 약 5000~6000kW 이하의 동력전달에 적합하다. 그 이상의 대형출력 선박일 경우 크로스 헤드에 직접 연결하는 방식은 설계상 적용하기가 곤란할 뿐만 아니라 만약 적용한다고 하더라도 축, 프로펠러 및 유압시스템이 대형화되어 취급이 어렵고, 또한 파워 피스톤의 동력증대로 정확한 피치 설정을 기대하기가 어렵다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 유압시스템 구성방식에 대한 연구를 각 제작사 및 연구기관에서 하게 되었고, 그 결과 대형선박에도 적용 가능한 主서보밸브 내, 외장형이라는 가변추진장치가 대두된 것이다.

(2) 主서보밸브의 허브 내장형

허브 내부의 기계적 연결장치를 작동시키는 主동력원이 유압시스템인데, 이를 통제하는 기계식 유압밸브를 主서보밸브라고 한다. 主서보밸브가 허브 내부에 내장되어 있는 형태(이하 허브 내장형, 또는 내장형이라 한다)의 가변추진기는 主서보밸브를 직접 조절할 수 있도록 중공축 내부를 통해 유압 분배기까지 충분한 길이의 밸브 로드가 준비되어 있어야 한다. 이 밸브 로드는 프로펠러 축 추력을 충분히 감당할 수 있어야 하고, 그 내부는 충분한 유량이 흐를 수 있도록 공간을 확보하는 것이 필수적이다. 그리고 유량 계산시 시스템의 정상운전 압력이 약 50bar를 초과하지 않도록 설계하는 것이 운용상 이상적인 것으로 되어 있다. **그림4, 5**에서 보는 바와 같이 허브 내장형은 긴 밸브 로드에 의해 主서보밸브의 동작이 일어나므로 대부분의 유압계통 운동은 허브 내부에서 일어난다. 따라서 허브 내부의 국부적인 열 발생 또는 온도 변화에 따른 열팽창이 피치각의 정확도에 영향을 주어 그 오차범위가 다른 형의 가변추진기에 비해 조금 떨어질 수 있다. 또한, 主서브밸브 설계시 유체소음 및 진동을 고려해야 한다. 따라서 가변추진기의 적용추세를 보면 허브 내장형에서 점차 외장형으로 변경하여 적용하는 경향을 보이고 있다.

(3) 主서보밸브의 허브 외장형

主서보밸브의 허브 외장형(이하 허브 외장형, 또는 외장형이라 한다) 가변추진기는 主서보밸브가 船內에 있는 유압 작동장치 내부에 설치되어 있다. **그림6**에서 보는 바와 같이 모든 작동유는 이중

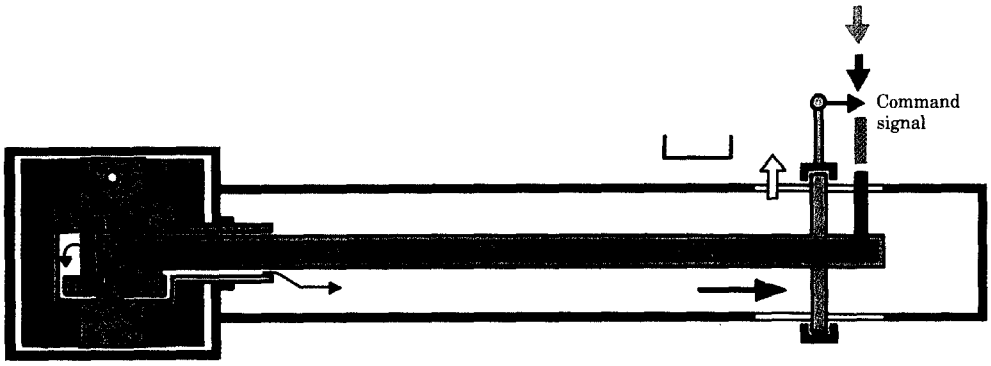


그림 4 主서보밸브의 허브 내장형 작동유 흐름도

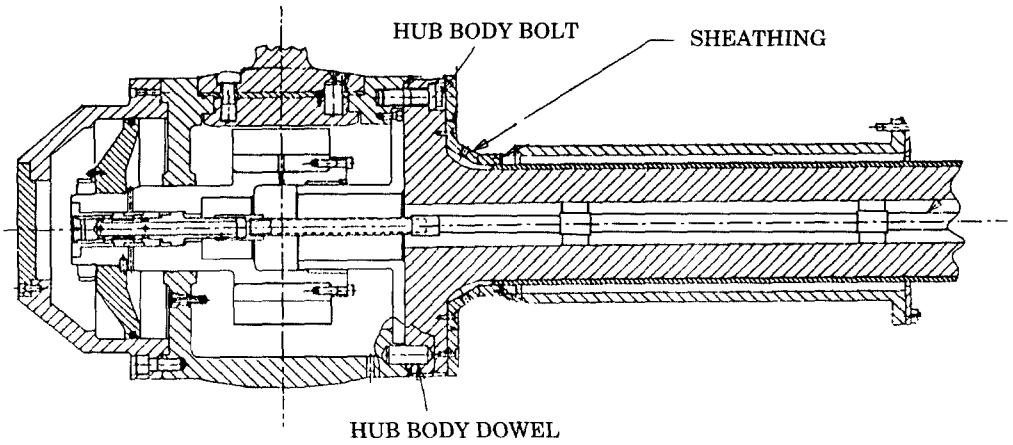


그림 5 主서보밸브의 허브 내장형 구조

(double) 유압관을 통하여 허브 내부의 파워 피스톤을 작동시켜 프로펠러 블레이드를 움직이게 한다. 유압시스템 설명에서 보다 상세하게 다루겠지만 主서보밸브의 유압구조는 다음과 같다.

① 허브 내장형 가변추진기:밸브 로드 내부는 작동유 통로이며, 외부는 리턴 오일 통로이다.

② 허브 외장형 가변추진기:이중 유압관을 중공축 내부에 설치하여 허브 내부에 있는 파워 피스톤과 직접 고정시켜 설치한다. 안쪽 유압관은 전진오일, 바깥쪽 유압관은 후진오일 통로이고, 바깥쪽 유압관 바깥은 정압오일 통로이다.

외장형 가변추진기는 전, 후진 오일의 조절을 유압 작동장치 내부에서 결정하므로 맥동이 없는 이상적인 상태로 유압이 허브 내부까지 부드럽게 전달될 수 있어 피치작동이 유연할 뿐만 아니라 작동유의 온도가 항상 일정하여 피치정확도가 내장형에 비해 우세하다.

한편 내장형 가변추진기는 유압조절 및 통로 구성상 모든 열 교환이 허브 내부에서 일어난다. 그리고 리턴하는 작동유는 긴 중공축의 밸브 로드 외부를 따라 유압 분배기를 지나 오일 섬프로 회귀한다. 여기서 主서보밸브 작동으로 인하여 발생한 열에너지는 긴 중공축을 따라 오면서 선저의 해수에 의해 냉각되므로 내장형 유압시스템 구성시에는 시스템에 별도의 냉각장치를 둘 필요가 없지만, 혹한기에는 히팅 시스템이 필요하다. 그러나 외장형 유압시스템은 열 교환이 船內에 설치되어 있는 유압 작동장치의 극히 폐쇄된 공간 내에서 행해지므로 작동유를 냉각시키기 위하여 반드시 별도의 냉각장치를 필요로 한다. 이상이 내, 외장형 가변추진기의 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다.

2.1.2 트러니언 베어링형(trunnion bearing type)

이 형은 독일의 가변추진기 제작사인 에샤 비스(Escher Wyss)社의 샨츠 박사(Dr. F. Schanz)가 개발하여 이를 트러니언이라고 이름 붙였다. 이 형은 포탑 선회베어링과 같이 원통 선회형태를 취하고 있고, 그 기계적 구조는 전 세계적으로 오직 에샤 비스社만이 만들어 오고 있는 독특한 형태의 가변추진기이다. 이 형의 가변추진기에는 일체식과

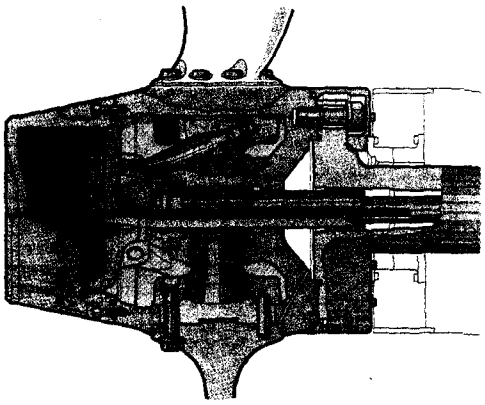


그림 7 트러니언 베어링 허브의 내부 구조

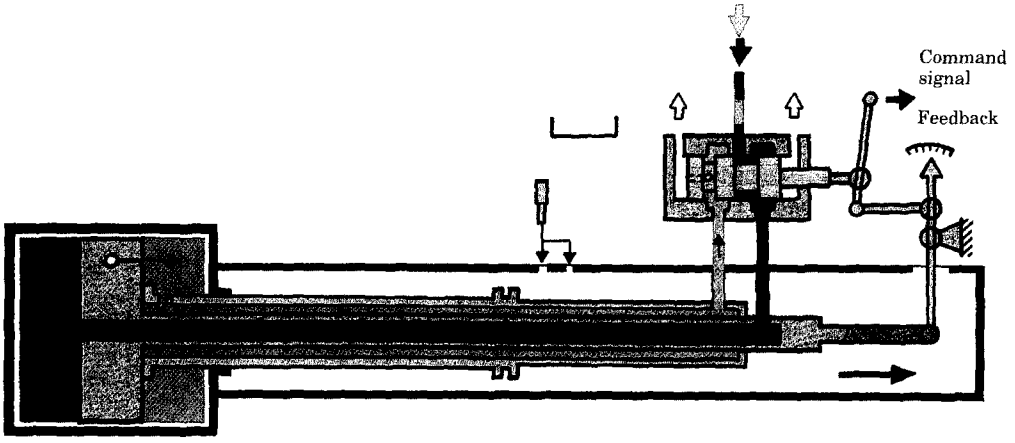


그림 6 主서보밸브의 허브 외장형 작동유 흐름도

분리식이 있다. 일체식은 프로펠러 블레이드가 트라니언과 일체형으로 구성되어 있고, 분리식은 수중에서 블레이드를 취외 취부가 가능하도록 블레이드와 트러니언을 분리 제작하는 것이다. 이 형에 대한 구조는 **그림7**과 같고, 다음 **표**에 이 형과 칼라 베어링형에 대한 특성을 비교해 놓았다.

또한 이 트러니언 베어링형 가변추진장치는 구조적으로 主서보밸브를 허브 내부에 설치하기가 어려울 뿐만 아니라 현실적으로 불가능하므로 유압시스템은 主서보밸브의 허브외장형으로만 구성된다.

2.2 유압 분배기 또는 유압 작동장치 설치방법에 따른 분류

(1) 軸上 설치형(shaft mounting type)

가변추진기의 가장 큰 단점은 프로펠러 피치를 변경하기 위해서 기계적 연결장치 및 유압통로가 필수적으로 확보되어야 하고, 양쪽 모두 긴 중공축을 통해서만 가능하다는 것이다. 특히, 가변추진기 축의 길이는 상선을 제외한 군용 함정에서는 짧게는 20m에서 길게는 80m 이상 되는 경우도 있다. 이와 같이 축의 길이가 긴 선박에서는 축 전체를 중공축으로 가공하기가 어렵고, 저속엔진을 사용하는 상선에서는 감속기어 장치가 없기 때문에 유압 분배기 또는 유압 작동장치를 축상에 설치해야 한다. 또한, 축에서 중공부분이 길어지면 설정한 피치각을 추적하고 유지하는데 있어서 오차범위가 크게 될 우려가 있다. 이와 관련하여 최소한의 중공축을 가변추진장치에 적용하기 위해 각 제작사에서는 지속적으로 연구와 실험을 하게 되었다. 그 결과 고안된 방법이 유압 분배기 또는 유압 작동장치의 軸上 설치형이고, 그 기계적 구조는 **그림8, 9**와 같다.

여기서 유압 분배기와 유압 작동장치를 구분하는 이유는 다음과 같다. 허브 내장형의 경우 主서보밸브를 프로펠러 허브 내에 설치하고, 유압 분배기를 船內의 軸上 또는 기어 박스 前部에 설치한다. 이 때 유압 분배기는 단지 고정부와 회전부(여기서는 축) 사이의 작동유 통로 역할만 한다고 하여 이 오일 분배기를 Oil Distribution Box라고 한다. 그리고 외장형의 경우에는 主서보밸브와 유압 분배기를 일체식으로 구성하므로 이 전체를 Actuating Unit라고 한다. 그러나 일반 운용자들은 양쪽 모두 구분 없이 사용하는데, 이는 반드시 구분하여 사용해야 한다.

(2) 기어박스 설치형(gear box mounting type)

선박의 동력전달장치는 대형 저속기관을 제외하고는 대부분 감속장치를 사용하고 있으며, 이 감속기는 엔진과 축 사이에 위치하게 된다. 이 때 감

표 칼라 베어링형과 트라니언 베어링형 가변추진기의 비교

항목 \ 구분	칼 라 베 어 링 형	트 라 니 언 형
1. 추력과 토크에 의한 접촉압력분포	삼각형 분포 베어링 외경에서 최대	균일 분포
2. 반력의 방향	반경 방향	축 방향
3. 원심력의 부담	같은 베어링	별도의 추력베어링
4. 허브셸(허브 shell)에 의한 요구	우력에 의한 이중적 힘의 흡수	내부 지지대에 의한 힘의 맞대응 (힘의 상쇄)
5. 최대 힘의 부담	허브후단 끝의 반경방향	허브전반부의 축 방향
6. 베어링의 지름	크다(외경에 의한 제한된 접촉압력)	작다 (균일한 압력분포 및 원심력의 분리)
7. 반력의 모멘트 암	보다 크다	보다 작다
8. 반력의 총합계 크기	보다 작다	보다 크다
9. 두 블레이드 구멍사이(가교)의 단면적	보다 작다	보다 크다
10. 두 블레이드 구멍사이에 미치는 힘	복합적인 부하가 작용	원심력만이 작용
11. 블레이드 수의증가	불리(모멘트 암의 감소 / 반력 증가)	유리(모멘트 암의 비교적 일정/반력 감소)
12. 경제적인 측면	설계 및 제작비가 저렴	설계 및 제작비가 고가

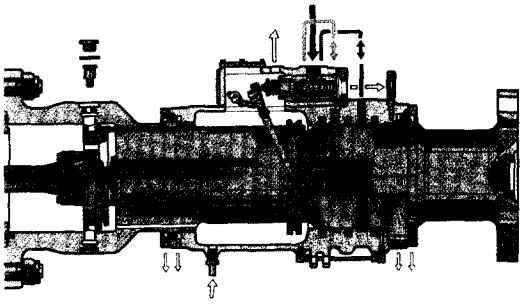


그림 8 축상설치형 유압 작동장치 **(Actuating unit)** 구성도/기계식

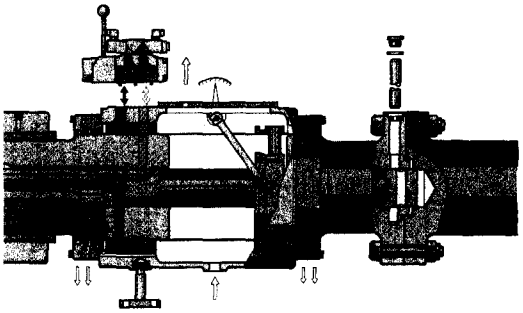


그림 9 축상설치형 유압 작동장치 **(Actuating unit)** 구성도/전기식

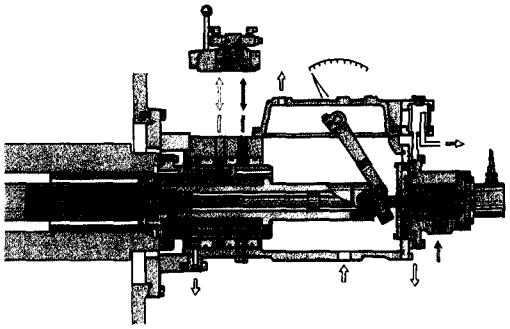


그림10 기어박스 설치형 유압 작동장치 **(Actuating unit)**

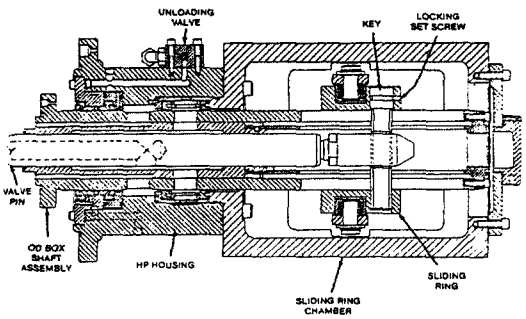


그림11 기어박스 설치형 유압 분배기**(Oil distribution box)**

속기어 중 Bull Gear Shaft를 중공으로 가공하여 감속기 앞쪽에 유압 분배기 또는 유압 작동장치를 설치하여 그 위에 가변추진기의 피치작동을 위한 제반 유압조절 및 분배 장치를 배치한다. 특히, 이 형은 축상 설치형에 비해 구조가 간단하며 외부진동이나 충격에 비교적 유리하다. 왜냐 하면 기어박스설치형은 대부분 Bull Gear 전, 후부에 각각 방사상(radial) 및 추력 베어링으로 견고하게 지지되어 있으므로 보다 안전하다.

그림10, 11은 각각 기어박스 설치형의 유압 작동장치와 유압 분배기에 대한 내부구성을 보여주고 있다.

3. 가변추진기의 유압계통

3.1 유압시스템 구성

유압시스템 구성은 가변추진기의 종류에 따라 다소 차이는 있으나, 시스템을 구성하고 있는 주변장치는 거의 비슷하다. 이러한 유압시스템을 구성하고 있는 부분을 기능별로 분류해 보면 오일섬프, 중력탱크, 유압동력모듈 및 작동유 제어장치 등으로 나눌 수 있으며, 그 기능별 특성을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 오일 섬프(oil sump)

일반적으로 오일 섬프는 선박의 황천항해시에도 문제가 없도록 내부구조를 설계해야 하고, 유압펌프는 이중으로 설치하여 비상상태에 대비해야 한다. 특히, 군용 함정의 설계조건에는 이 것이 필수사항으로 되어 있으며, 오일 섬프는 반드시 독립된 구조를 요구하고 있다. 오일 섬프를 독립적으로 구성할 것을 요구하는 가장 큰 이유는 무엇보다 가변추진기의 경우는 축계 내부전체가 오일통로로 구성되어 있어서 사고가 발생하면 오일이 유출될 가능성을 항상 내재하고 있기 때문이다. 만약 오일이 유출되었을 경우 심각한 해상오염을 초래할 위험성이 있기 때문에 여기에 대응하기 위하여 오일 섬프를 독립적으로 구성하는 것은 필수적이다. 또한 소량(약 5리터 미만)의 오일이라도 줄어들면 경고가 발생하도록 안전장치를 두고 있다. 이는 오일 유출에 따른 오염방지 차원뿐만 아니라 하나의 오

일 섬프로 가변추진장치와 감속기어용으로 사용할 경우 가변추진기 계통에서 누유가 발생하면 감속기어의 손상을 초래할 수 있다.

(2) 중력 탱크(gravity or header tank)

가변추진장치의 축은 중공축으로 되어 있고, 운전중에는 이 중공축의 오일통로를 통하여 전, 후진용 고압 작동유가 흐르고 있다. 이러한 고압유는 항상 각각의 연결부위에서는 절대 누유가 없는 안전한 구조로 연결되어야 하며 항상 누유에 대한 감시체계를 유압계통은 갖추고 있어야 한다.

또한 선박이 항구에 정박하고 있을 때, 추진축계통의 밀봉상태가 불량하면 수압으로 인하여 축계통내에 해수가 누입되어 장비의 손상을 가져올 수 있다. 이것을 방지하기 위하여 수압에 이길 수 있는 적절한 높이에 이 오일 탱크를 설치하여 밀봉상태가 불량하더라도 최소한의 기름유출로 장비를 보호하기 위하여 고안된 것이 이 중력탱크이다.

이와 같이 추진축계 밀봉장치 불량에 따른 유압손실에 대처하기 위하여 유압시스템에 이 중력탱크를 반드시 포함시켜야 한다. 정박 중 오일의 유출이나 운전중 급격한 유압손실이 발생했을 경우, 이 중력탱크에 설치된 低油準 경보(low level alarm)가 작동하여 운전자에게 응급조치를 할 수 있도록 하여 해상오염 확대 및 장비보호를 사전에 예방하고자 하는 것이다.

(3) 유압동력모듈(hydraulic power module)

오일 섬프 및 중력탱크를 제외한 유압계통에 설치되는 대부분의 기능품들을 종합하여 유압동력모듈(hydraulic power module)이라 한다. 이것은 각 제작사 및 설치 방법에 따라 다소 차이는 있으나, 크게 두 가지 유형으로 나누어 보면 다음과 같다.

- 선체 및 배관구조에 따라 조선소에서 적당한 장소에 각각의 기능품을 설치하여 유압동력모듈을 형성하는 시스템
- 중, 소형 가변추진기의 유압시스템과 같이 오일 섬프를 포함하여 유압동력모듈을 구성하는 대부분의 기능품을 전문 제작사에서 일체식(package system)으로 제작하여 공급하는 시스템

유압동력모듈을 구성하는 기능품에는 다음과 같은 종류가 있고, 각각에 대한 구체적인 설명은 여기서는 생략한다.

1. 유압펌프
   - 모터 구동 공급펌프
     (motor driven supply pump)
   - PTO 구동 공급펌프
     (감속기 또는 다른 동력장치로 구동)
2. supply and return flow filter
3. 자동 압력제어 밸브
   (automatic pressure control valve)
4. gravity oil pump
5. 비상수동 펌프
6. 계기판 等

(4) 유압제어시스템
(hydraulic oil control system)

유압제어시스템에는 크게 나누어 순수 기계식 유압제어구조와 전기식 유압제어구조가 있다. 순수 기계식 유압제어구조는 시스템 내에 흐르는 유체의 유량, 압력뿐만 아니라 피드백까지 순수하게 기계적으로 유압밸브를 작동시키고 제어하는 방식이다. **그림12**와 같이 이 방식은 개발되어 사용되고 있는 제어방식 중 가장 신뢰할 수 있는 장치로 널리 알려져 있으며, 특히 비상시 응급대처에 가장 확실한 방법이다.

한편 **그림13**과 같이 전기식 유압제어구조는 가장 상용화되어 있으며, 구조가 간단할 뿐만 아니라 가격이 저렴하고 사용이 간편하다. 특히 이 전기식 유압제어기는 고장이 발생했을 때 수리복구가 어렵고 전문제작사가 아니면 현장에서 수리한다는 것은 거의 불가능하다. 이 형식을 사용할 때는 반드시 출항 전 동일형의 제어기를 여분으로 확보하여 항상 비상시에 대비해야 할 것이다.

3.2 유압시스템(hydraulic system)

유압시스템은 가변추진기 제작사마다 보조기기의 제작사양 및 기능이 조금씩 다르다. 그러나 궁극적인 목적은 적정 유량과 압력이 허브 내의 파워피스톤 전, 후부에 부드럽게 전달되어 프로펠러 피치가 전, 후진으로 맥동 없이 가장 최적상태로 작

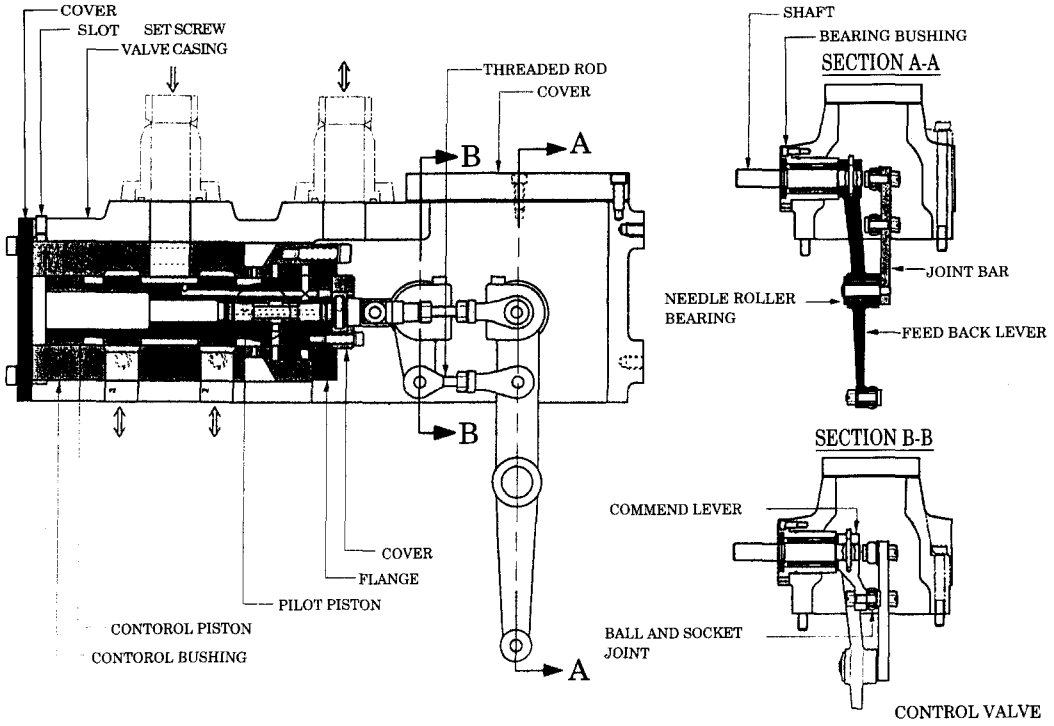


그림 **12** 기계식 유압제어 구조

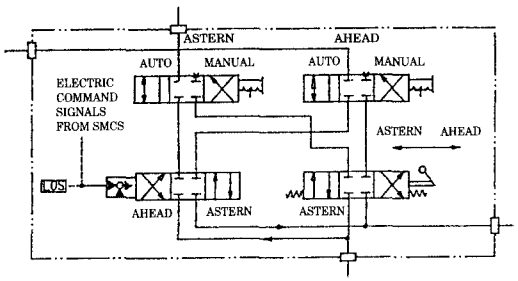


그림 **13** 전기식 유압제어 구조

동되도록 주변의 유압기기가 설비되는 것이다. 지금까지 가장 많이 사용하고 있는 가변추진장치의 유형으로는 허브 내, 외장형인데, 이 두 가지 유형의 유압시스템이 가장 뚜렷한 특색을 가지고 있다.

(1) 主서보밸브의 허브 내장형 유압시스템

앞에서 언급한 바와 같이 허브 내장형 가변추진장치는 主서보밸브가 허브 내에 장치되어 있는 시스템이다. 이 主서보밸브는 밸브 로드라는 조절봉과 연결되어 있고, 이는 다시 유압 분배기 내의 보조 서보피스톤과 연결되어 있다. 이 보조 서보피스톤은 밸브 로드를 전,후 방향으로 조절해 주고, 피치 제어 매니폴더의 전기식 유압작동밸브에 의해 작동된다. 특히, 이 밸브 로드의 내부는 전, 후진 피치각을 조절해 주는 작동유 통로이며, 외부는 主서보밸브에서 피치각 변경이 완료된 후 리턴 오일이 오일 섬프로 되돌아오는 통로이다.

프로펠러 피치각은 밸브 로드의 길이변화 즉, 직선 이동거리를 회전운동 각도로 환산하는데, 이 값은 피치각 지시기로 알 수 있다. 피치각을 항상 일정한 각도로 유지할 수 있는 것는

- 主서보밸브의 밸브 핀이 전, 후 방향으로 작동
- 허브 내의 파워 피스톤이 밸브 핀의 반대방향으로 작동
- 프로펠러 블레이드 작동
- 파워 피스톤과 연결된 밸브 핀 하우징이 작동유 구멍 차단

의 순서로 프로펠러 블레이드는 현 상태의 피치각

을 유지한다. 만약 또 다시 피치변환신호가 오면 앞의 동작을 반복하여 피치각을 바꾸는데, 이러한 일련의 연속된 동작을 主서보밸브의 자동피드백 구조라 한다. 특히, **그림14**와 같이 이 유압시스템에서 알 수 있듯이 主서보밸브의 허브 외장형과 비교하여 유압계통에는 냉각장치가 필요 없다는 것이다. 이는 앞에서도 설명하였듯이 수면 하에 설치된 중공축이 냉각기 역할을 하기 때문이다. 그러나 겨울철 혹한기에는 해수온도의 저하로 작동유의 점성이 증가하므로 오일 섬프 내에 히터를 설치하여 저온에 따른 유압시스템의 문제점을 해결하고 있다.

(2) 主서보밸브의 허브 외장형 유압시스템

허브 내장형 유압시스템에서는 주로 밸브 로드가 유압통로를 구성하였으나, **그림15**와 같이 허브 외장형 유압시스템에서는 이중(double) 유압관이라는 별개의 유압통로가 있다. 이것는 안쪽(inner) 유압관과 바깥쪽(outer) 유압관로 구분되어 있다. 안쪽 유압관은 전진 피치각으로 움직이게 하는 작동유 통로이고, 안쪽 유압관과 바깥쪽 유압관 사이는 후진 피치각으로 움직이게 하는 작동유 통로이며, 바깥쪽 유압관 외부는 허브오일(hub or static oil) 통로이다. 여기서 허브 내장형 유압시스템과 다른 것은 만약 전진오일 통로(안쪽 유압관)에 유압이 형성되면 피치각이 전진방향으로 움직임과 동시에 후진오일은 유압 작동장치 내 主제어밸브의 후진용 기름구멍을 지나 오일 섬프로 회귀한다. 후진피치 작동은 전진피치 작동 때와 마찬가지로 후진오일통로에 유압이 형성되어 파워 피스톤을 통해 프로펠러 블레이드를 작동시킨다. 리턴 오일은 전진오일통로를 통하여 유압 작동장치 내 主제어밸브의 전진용 기름구멍을 지나 오일 섬프로 회귀한다.

여기서 중요한 것은 전, 후진오일 이동의 대부분은 유압 작동장치(Actuating Unit) 내에서 일어나는데, 이로 인해 유체 마찰열이 발생하므로 부가적으로 유압시스템에는 열교환기를 필수적으로 설치해야 한다.

4. 가변추진기의 공기분사시스템

가변추진기의 추진소음을 감소시키기 위해 추

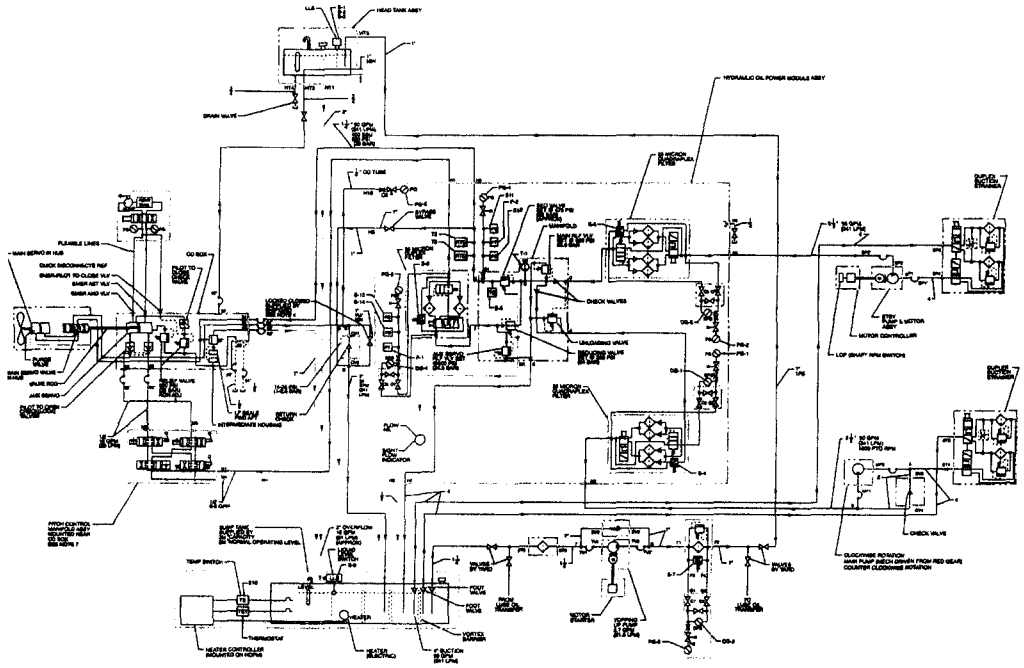


그림 14 主서보밸브의 허브 내장형 유압시스템

진 축계의 중공 부분에 공기 분사시스템(Air Emission System)을 장치하여 각각의 프로펠러 블레이드 끝에 있는 공기분사 노즐을 통하여 수중으로 분사시킨다. 공기 분사시스템을 채택하여 적용한 제작사에 의하면 상당한 소음감소 효과를 얻었다고 하지만, 정확하게 검정된 자료는 아직까지 본 적이 없다. 그러나 이 공기분사장치는 선진 각국의 군함에 널리 적용하고 있는 것이 현실이다.

특히, 이 공기분사장치의 채택은 주 추진기관의 운전중 연속적으로 압축공기(1.5~3.5bar)가 지원되어야만 적용 가능한 관계로 현재까지는 개스터빈 추진기관에만 널리 채택하여 사용하고 있다. 개스터빈의 압축기 배출압력(CDP, compressor discharge pressure)단에서 압축공기를 추출하여 냉각기 및 자동감압밸브를 거쳐 공기분사장치로 공급된다.

5. 원격제어 및 감시계통

가변추진기의 피치 변화 폭은 주기관의 성능곡선에 따라 단계별로 결정되어 있다. **그림16**의 콤비네이터 선도에서 알 수 있듯이 엔진특성과 연동이 되어 있어 엔진은 항상 최적상태로 운전하도록 되어 있다. 만약 엔진이 과부하(overload) 상태가 되면 연료제한위치설정의 신호에 의해 피치각 감소 신호를 준다. 해상상태의 악화 또는 급선회 등으로 엔진이 과부하상태가 되면 이 자동 피치감소 시스템이 동작하여 엔진을 과부하상태에서 해소시켜 어떤 부하변동 조건에서도 최적상태에 있게 되는 것이다. 원격제어시스템은 **그림17**과 같이 구성되어 있다.

원격제어시스템과 함께 가변추진장치의 감시기능으로는

(1) 공급오일 저압(supply pressure low)
(2) 시스템 고온(system temperature high)
: 허브 외장형에만 해당
(3) sump tank, head oil, low level alarm
(4) 허브 오일(hub or static pressure) 저압
(4) 피치 시스템 제어 실패
(pitch control system fail)

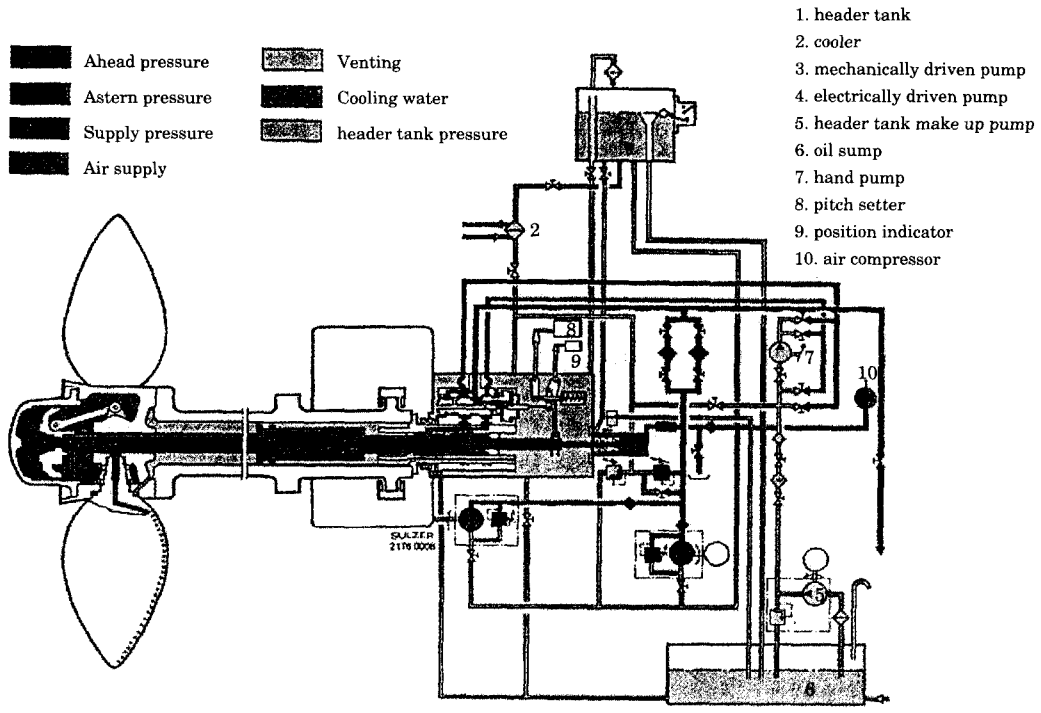


그림 15 主서보밸브의 허브 외장형 유압시스템

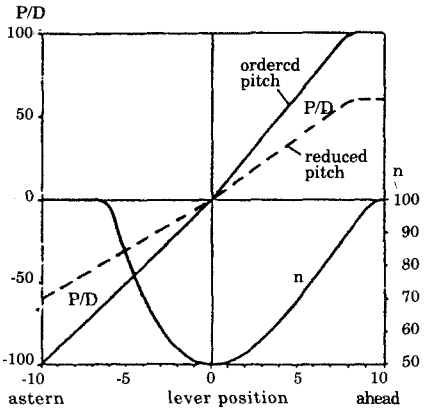


그림 16 콤비네이터 선도(**combinator diagram**)

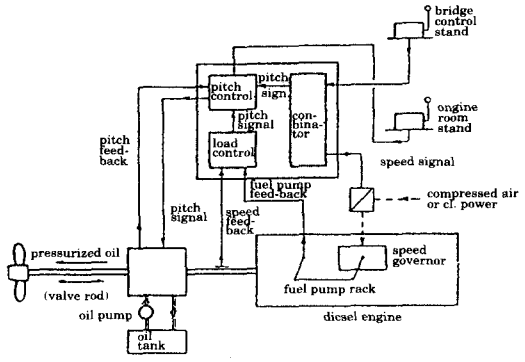


그림 17 主추진 제어시스템 구성도

등으로 극히 단순하게 짜여져 있으며, 현재까지 가변추진기는 고정날개 추진기와 별 차이 없이 고장을 일으키지 않고 거의 완벽에 가까울 정도로 장비 신뢰성을 확보하고 있다.

6. 결 론

1930년대 이후 등장한 가변추진장치는 개발과 개선을 거듭하여 현재까지 다양한 형태로 발전되어 박용 추진장치 중 하나의 중요한 영역을 차지하고 있다. 특히 추진장치 중 가변추진기는 선박에 사용되는 빈도에 비해 널리 알려져 있지 않을 뿐만 아니라, 정리되어 있지도 않다. 현재까지 알려져 있는 모든 종류의 가변추진기는 각 제작사가 자사 제품 소개에만 편중되어 단점에 대한 지적은 전혀 공론화 되어 있지 않다.

여기서는 가변추진장치에 대한 이해를 돕기 위하여 지금까지 사용하고 있는 가변추진장치의 종류에 대해서 살펴보고, 각 종류별 특징과 시스템구성에 대해 가능하면 쉽게 설명하고자 하였다.

끝으로 이 연구보고서의 간단한 내용 설명이 가변추진장치를 이해하는데 조금이나마 도움이 되고, 또한 가변추진장치를 선정해야 하는 분들께 장비선정에 있어 기계적 구성과 유압시스템구성에 따라 특성이 다르므로 선박형태에 따른 최적모델 선정에 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

참고문헌

[1] 전효중, 軸系裝置와 프로펠러, 대진출판사, pp. 170~179, 256~271, 2000.

[2] 전효중, 船舶動力傳達裝置, 태화출판사, pp. 370~384, 1986.

[3] Jan Tornblad, Marine Propellers and Propulsion of Ships, Marine Lab. KaMeWa AB Sweden, pp.11-1~11-6, 1987.

[4] Fritz Schanz, Paper E2 Controllable Pitch Propellers, Escher Wyss GmbH, Ravensburg Germany, pp.1-E2-1~1-E2-11, 1981.