

[2009]

# Planning Procedure of Naval Architecture & Ocean Engineering

2009 Fall

Prof. Kyu-Yeul Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,  
Seoul National University



Seoul  
National  
Univ.



Advanced Ship Design Automation Lab.  
<http://asdal.snu.ac.kr>



- General Arrangement Design and Stability Evaluation of submarine -

# Basic Concept of Submarine Design

2009 Fall

Prof. Kyu-Yeul Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,  
Seoul National University



# 1. 잠수함의 역할 및 분류

## 잠수함의 역할

### ■ 전략적 측면 :

단독 및 은밀작전이 가능하기 때문에 전쟁억제 및 보복세력으로서의 효용가치가 큰 무기체계

### ■ 전술적 측면 :

☞ 가장 효과적으로 대잠전 수행

☞ 은밀하게 기뢰를 부설하여 항만 및 해역 봉쇄임무 수행

☞ 수중에서 은밀하게 적 수상함 및 수송선단 공격

☞ 적 해역에 은밀히 접근 특수작전 (적정 관찰, 특공요원 수송) 수행



# 1. 잠수함의 역할 및 분류

## 잠수함의 분류

### ■ 수행임무별

#### ☞ 전략잠수함 (SSB:Ballistic Missile Submarine)

- 핵탄두 장착한 탄도미사일이나 순항미사일 탑재하여 전면전 발발시 자국 영해 내에서 적국의 심장부(주요시설이나 도시) 공격 가능
- 1959년 미국에서 세계최초의 전략잠수함 조지 워싱턴급 5척 을 취항 (16기의 폴라리스 미사일을 2열 탑재)
- 최신예 전략잠수함 : Vanguard급(15900톤,영); Le Triomphant급(14120톤,프); (취역중, 수중배수량) Ohio급(18750톤,미); Typhoon(26500톤,러)

#### ☞ 전술잠수함(SSN / SSK: )

- 어뢰/미사일로 적 함대나 잠수함을 공격, 함대호위, 정찰, 초계, 기뢰부설 임무 수행
- 최신예 전술잠수함 : Sea Wolf 급(미); Akula급(러); Oyashio급(일); (취역중) 212급(독)



# 1. 잠수함의 역할 및 분류

## 잠수함의 분류

### ■ 추진방식별

#### ☞ 디젤전기추진 잠수함(Diesel-Electric Powered Submarine)

- 수상항해 : 디젤발전기에 의한 전기 사용
- 스노클 항해 : 수중항해를 위해 2차전지에 전기 충전
- 수중항해 : 2차 전지에 충전된 전기를 사용

#### ☞ 원자력 추진 잠수함(Nuclear Powered Submarine)

- 원자로(가압수형 경수로)를 이용
- 배터리 및 스노클 장치 불필요

#### ☞ 하이브리드형 잠수함(Hybrid Submarine)

- 디젤전기추진 + AIP (Fuel Cell / CCD / Stirling Engine, MESMA etc. )



# 1. 잠수함의 역할 및 분류

## 잠수함의 분류

### ■ 작전해역에 따른 분류

#### ☞ 대양형(Ocean-going Submarine)

- 장기 해상작전용 (2,000톤 이상)
- 장거리 항해 가능

#### ☞ 연안형(Coastal Submarine)

- 주로 천해에서 활동하며, 기뢰에 취약함.
- 작은 톤수가 적합함

### ■ 선체구조에 따른 분류

#### ☞ 단각구조(Single Hull) :

- 함수미의 주 밸러스트탱크, 자유통수구역, 상부구조물, 브릿지핀 및 밸러스트킬을 제외한 나머지 부분에는 압력선체가 노출되어 있음. 예비부력 10% 정도

#### ☞ 복각구조(Double Hull)

- 압력선체 사이의 공간 : 밸러스트 탱크, 연료유 탱크 및 기타 장비 적재에 활용
- 예비부력 25~30%



## 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

- 3차원 운항 및 3가지 운항 조건을 만족하기 위한 고난도 설계기술
- 은밀성, 탐지능력, 전투성능 등 특수기술의 집약
- 설계 단계에서 잠수함 형상에 맞추어 개발되어야 하는 장비 소요
- 건조 중 기본설계 변경 어려움
- 정부 차원에서 직접 통제하는 전략기술



## 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

### ◆ 선형

- ☞ 원형의 횡단면 형상 : 공간 활용면 불리(주요 장비와의 연동 개발이 필수적임.)
- ☞ 수중에서 최상 성능 유지 (수상 및 스노클 성능이 수상선 대비 불리)

### ◆ 장비 배치

- ☞ 장비 밀도가 수상함의 3~4배 이상 (**0.2~0.3 : 1**)  
(Simulation Based Design 기술 적용이 요구됨.)
- ☞ 추진계통 장치 체적이 압력선체 체적의 50% 정도 점유

### ◆ 유체 정역학 특성

- ☞ 압력선체 외 다수의 부가물 : 비압력 선체 및 각종 장비
- ☞ 잠수심도에 따른 외압에 견뎌야 함.

### ◆ 중량 및 중심

- ☞ 수중에서 중성부력 및 제로트림 유지 (평형다각형 만족)
- ☞ 수중 및 수상 안정성(Stability) 기준 만족



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

잠수함과 수상선(함) 비교 (1/2)

잠수함	특성	수상선
주로 수중, 필요시 수상	운항	수상
3차원 (계기 조종)	조종	2차원(목측 조종)
수중 침수사고시 승조원의 수압 노출에 대비한 특수 안전장치 필요	안전	선체 파괴 경우를 제외하고는 안전
수압에 의한 침수대비 선체밸브에 이중 안전장치 필요		
최대 복원력이 횡경사각 90°에서 나타남	복원성	보통 70° 이내의 상대적으로 작은 복원력 범위를 갖는다.
10~30% (현대 잠수함)	예비부력	만재배수량 보다 큰 예비부력 확보 가능
수중항해 위주이므로 덜 중요함	내항성	설계시 매우 중요한 고려요소



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 잠수함과 수상선(함) 비교 (2/2)

잠수함	특성	수상선
수상, 스노클 및 수중 서로 다른 상태에 적합한 추진성능이 요구됨.	추진성	수상 흘수 변화에 따른 저항증가에 국한
모든 부가물은 최소의 크기와 유선형으로 설계	선형	수선 상부의 부가물 형태는 비교적 덜 중요함
길고 둥근 튜브 내부에 배치 하므로 배치성 불량	배치성	상대적으로 넓고 큰 공간으로 배치 유연성
밀폐공간에서의 호흡을 위한 공기재생 장치 필요	생명 지원설비	별도 설비 불필요
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Shell yielding</li> <li>- Shell buckling</li> <li>- Overall collapse</li> </ul>	구조강도	종방향 부재의 강도와 모멘트 및 Local water pressure에 따름.



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

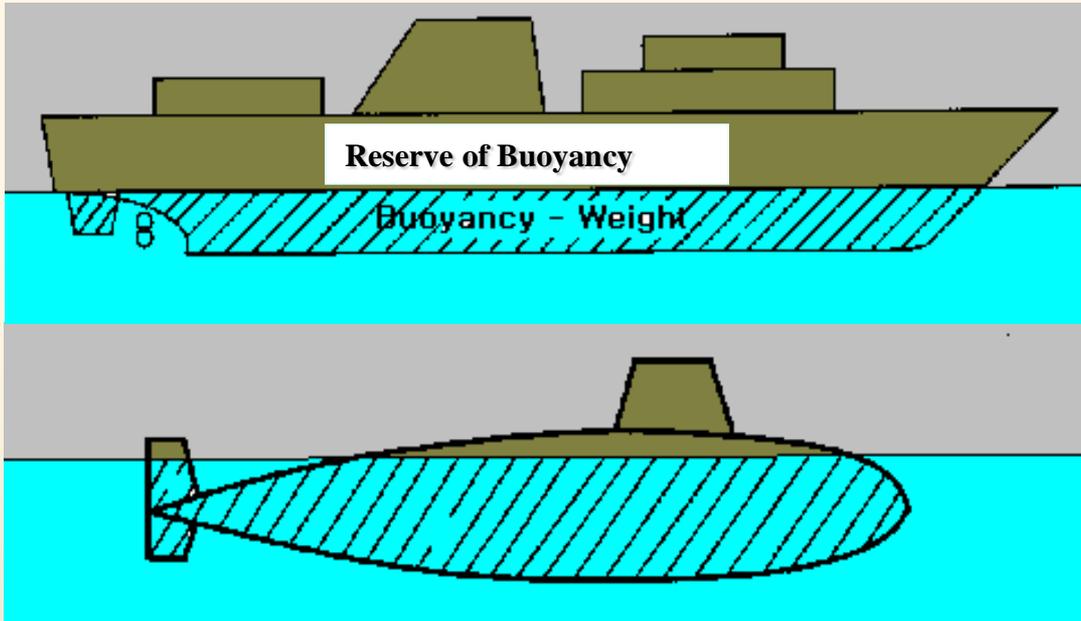
잠수함 중량과 내부 공간 구성비(디젤전기 추진식)

Item	Weight (%)	Space (%)
Payload (무장적재능력)	9	28
Structures(구조)	43	-
Main & Aux. Machinery (각종 기기류)	35 (축전지 20 - 25%)	56
Accommodation & Outfit (거주구 & 의장품)	4	11
Stores (부식, 예비품)	1	5
Permanent Ballast (중성부력 및 안정성 확보)	8	-



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

수상선박과 수상상태의 잠수함의 예비부력

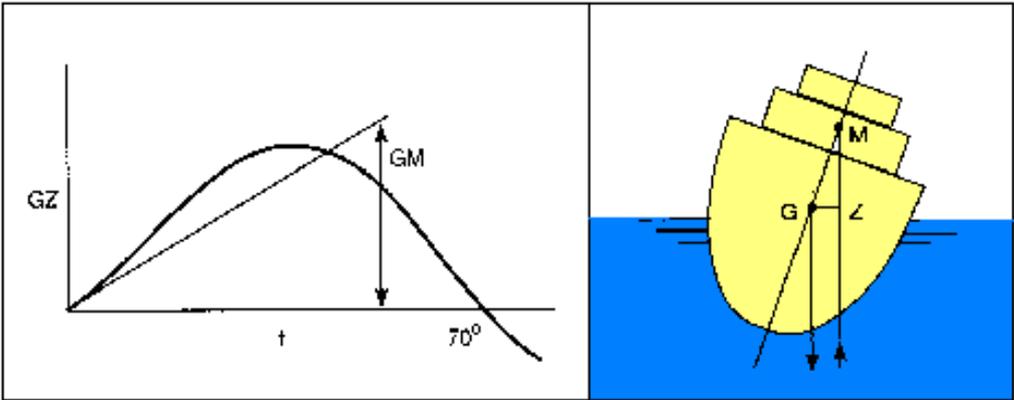


### ■ 예비부력(Reserve Buoyancy)

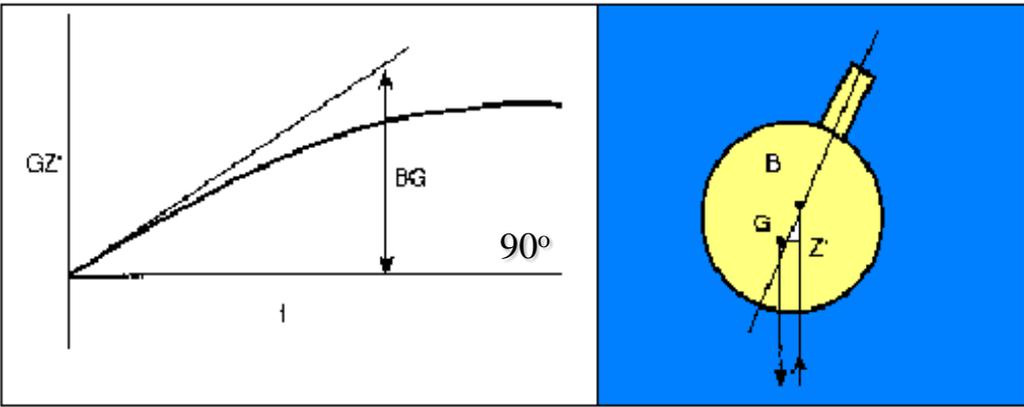
- 수상함 : 100 - 200 % (만재배수량에 대한 흘수선 상갑판 아랫쪽 수밀구획 체적의 비율)
- 잠수함 : 수상배수체적에 대한 주 밸러스트 탱크 순체적(net volume)의 비율
  - 단각구조 : 약 10%
  - 복각구조 : 약 20 - 30 %

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 수상선박과 수중상태 잠수함의 횡 복원성



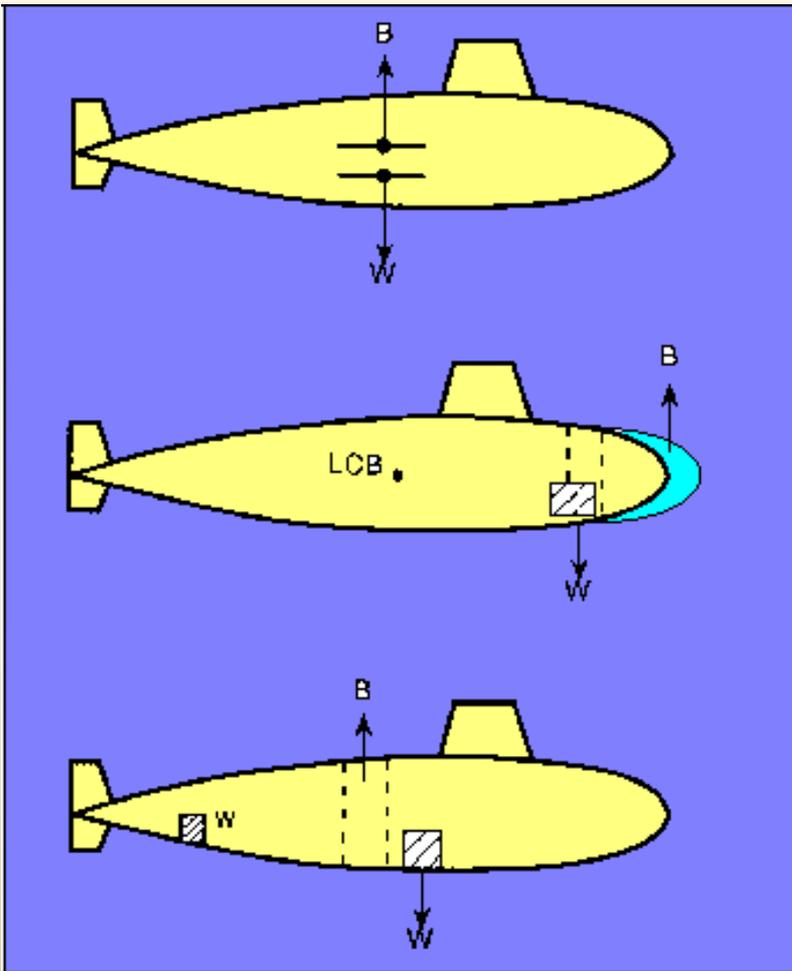
- 수상함
  - 복원력 범위 <math>< 70^\circ</math>
  - $GM > 0.15\text{ m}$  (최소값)



- 잠수함
  - 횡단면 형상이 원형이므로 복원력 최대 범위는  $180^\circ$  에 근접함
  - 수중에서는 수선면이 없으므로 횡복원성과 종복원성 특성은 동일

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

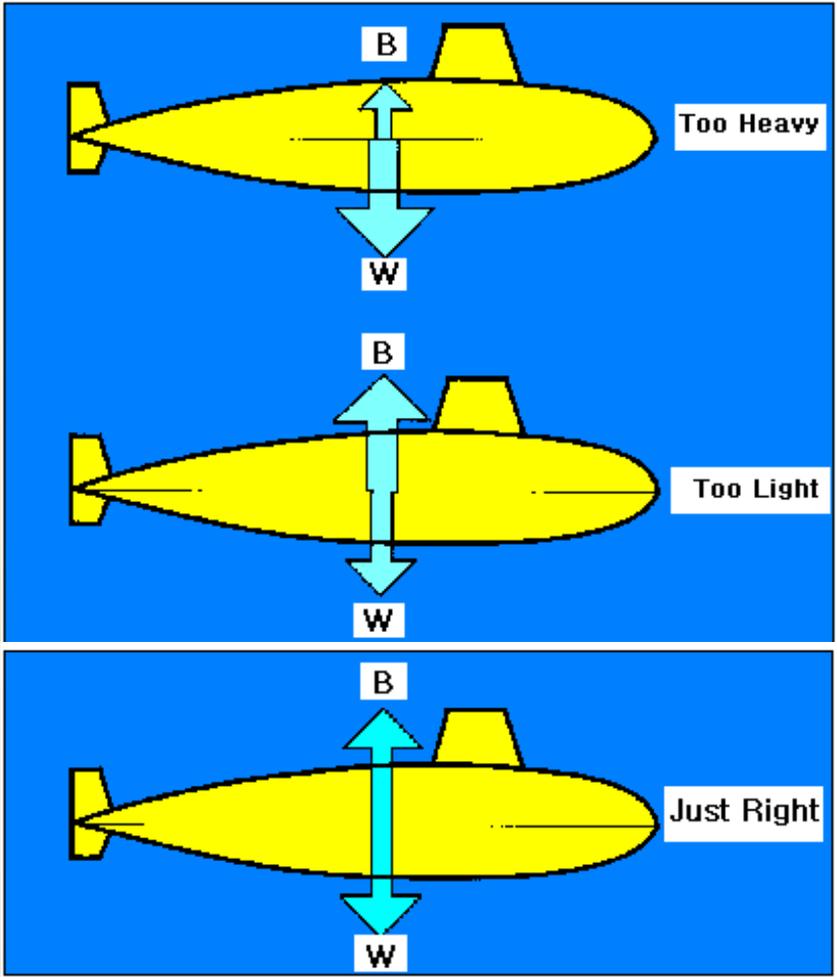
## 수중상태 잠수함의 종 방향 균형유지



- 종 방향 균형 유지
- (a) 종 방향으로 균형이 유지될 때  $LCG = LCB$
- (b) 함수쪽에 중량이 추가될 경우에는 함수에 부력이 증가되어야 함.
- (c) 증가된 부력이 추가된 중량의 위치와 일치하지 않을 때는 추가적인 중량  $w$  가 필요하게 됨.  
즉,  $B = W + w$

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 중량과 부력의 상대적인 관계



- 중량과 부력의 관계
  - **Too heavy ( $W > B$ )**
    - . 압력선체 재질/두께 변경 → 잠수심도 감소
    - . 장비 경량화
    - . 부력재 (buoyant material) 삽입
  - **Too light ( $W < B$ )**
    - . 고정 밸러스트 추가 적재
    - . 압력선체 두께 변경 → 잠수심도 증대
  - **Just right ( $W = B$ )**
    - . 설계의 최종 목표

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

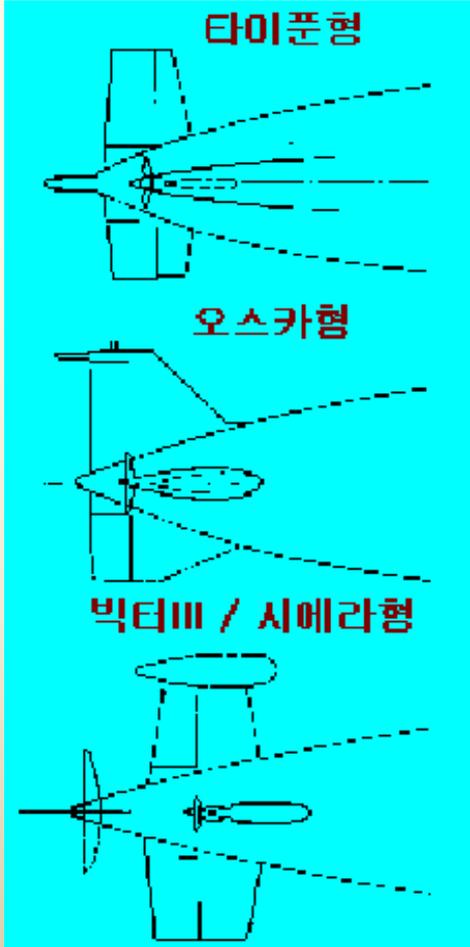
## 잠수함 탱크의 종류 및 용도

탱크명	용도	비고
Main Ballast Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>수상항해에 필요한 부력제공</li> <li>충/배수에 의한 잠수 및 부상</li> <li>심해에서 비상부상시 배출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>함수와 함미 비압력선체 내부에 설치</li> <li>설계시 <b>Longitudinal balance</b> 검토요</li> <li>용량 : 수상배수체적의 약 <b>10%</b></li> </ul>
Trim Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>중성트림 상태 유지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력선체 양 끝단에 설치</li> <li>용량 : 수상배수체적의 약 <b>0.5%</b></li> </ul>
Compensating Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>해수밀도와 심도증가에 따른 압력선체 체적 변화에 따른 보상</li> <li>연료유, 식량, 청수 소비중량 보상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중방향 부심 근처에 설치</li> <li>천해용과 심해용 내압탱크로 세분</li> <li>용량 : 수상배수체적의 약 <b>3-5%</b></li> </ul>
Fuel Oil Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>디젤엔진 공급용 연료유 저장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해수압력(냉각수 또는 외압)으로 공급 즉 사용 후 해수로 대체 (중량 증가)</li> <li>압력선체 외부에 설치 가능</li> </ul>
Fresh Water Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>식수 및 세척용 청수 저장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용 후 조수기로 보충</li> </ul>
Distilled Water Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>축전지 전해액 보충 및 세척용 증류수 저장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>청수를 이온화시켜 불순물 제거해야함</li> </ul>

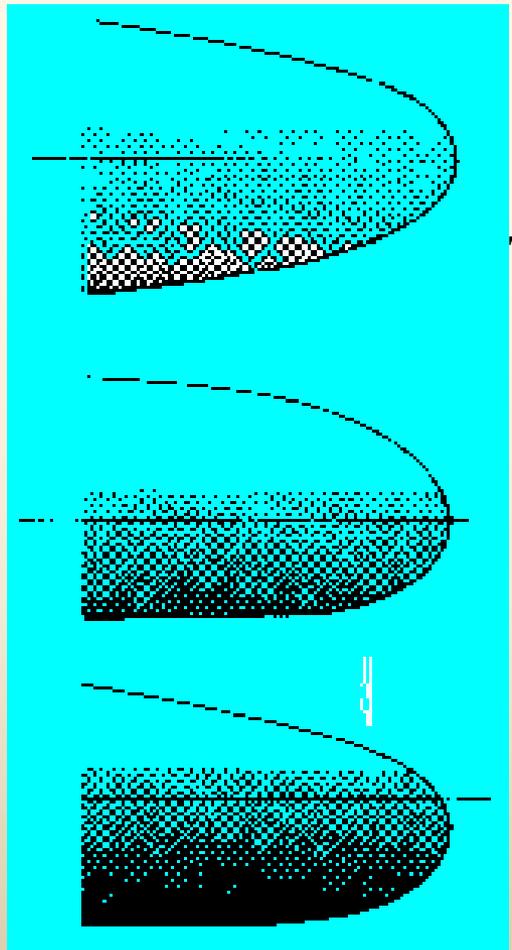


# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 잠수함의 함수 및 함미 선형



축대칭형 함미 형상

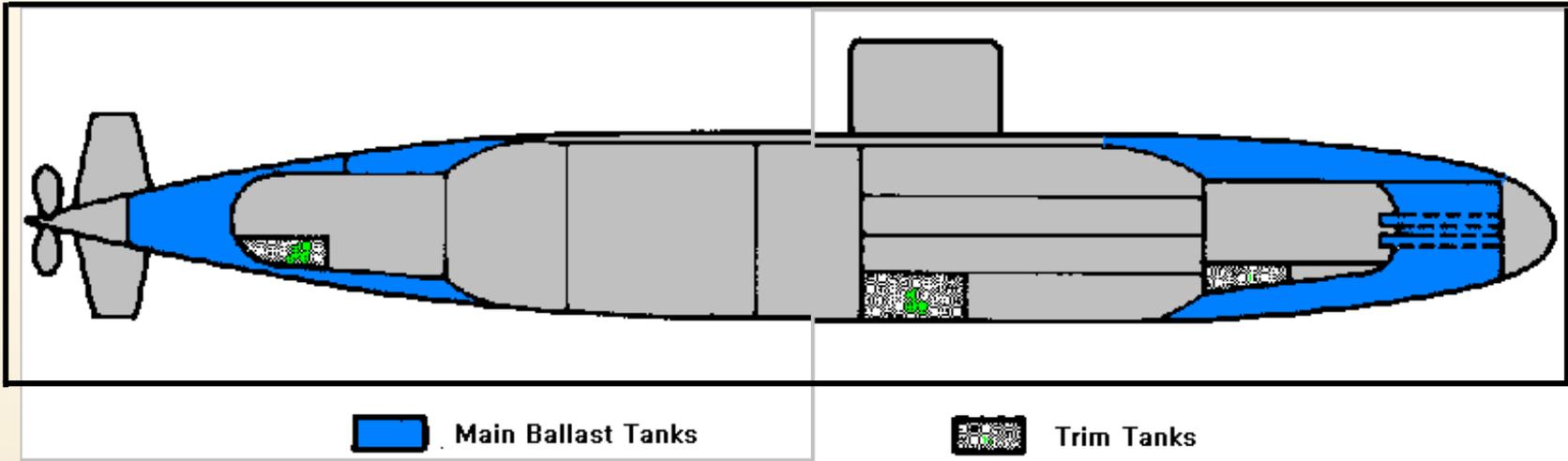


Tear Drop shape (축대칭 및 변형)



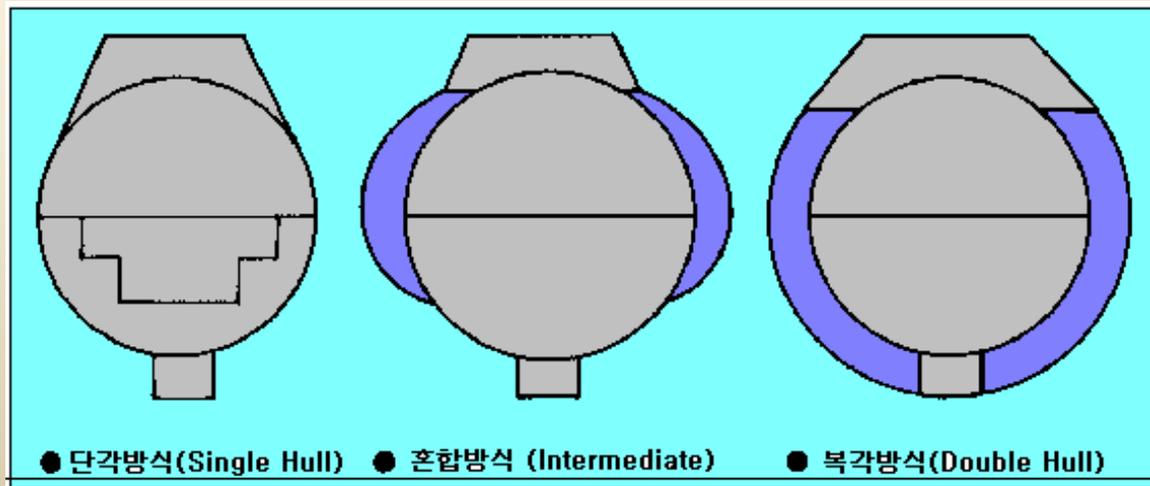
# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

잠수함 선체 종단면과 횡단면 형상



 Main Ballast Tanks

 Trim Tanks



● 단각방식(Single Hull)

● 혼합방식 (Intermediate)

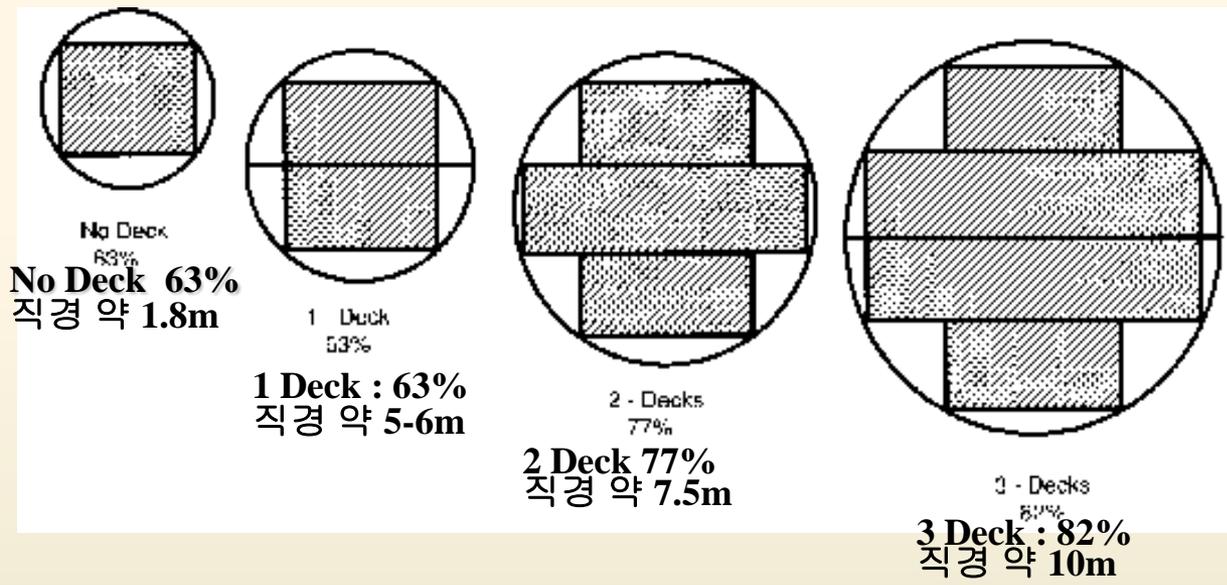
● 복각방식(Double Hull)

## ■ 횡단면 형상

- 단각방식 : 대부분 현대 잠수함
- 혼합방식 : 구식 잠수함
- 복각방식 : 대형 핵 잠수함 (러시아)

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

잠수함의 압력선체 직경을 결정하는 요소



■ 무장체계

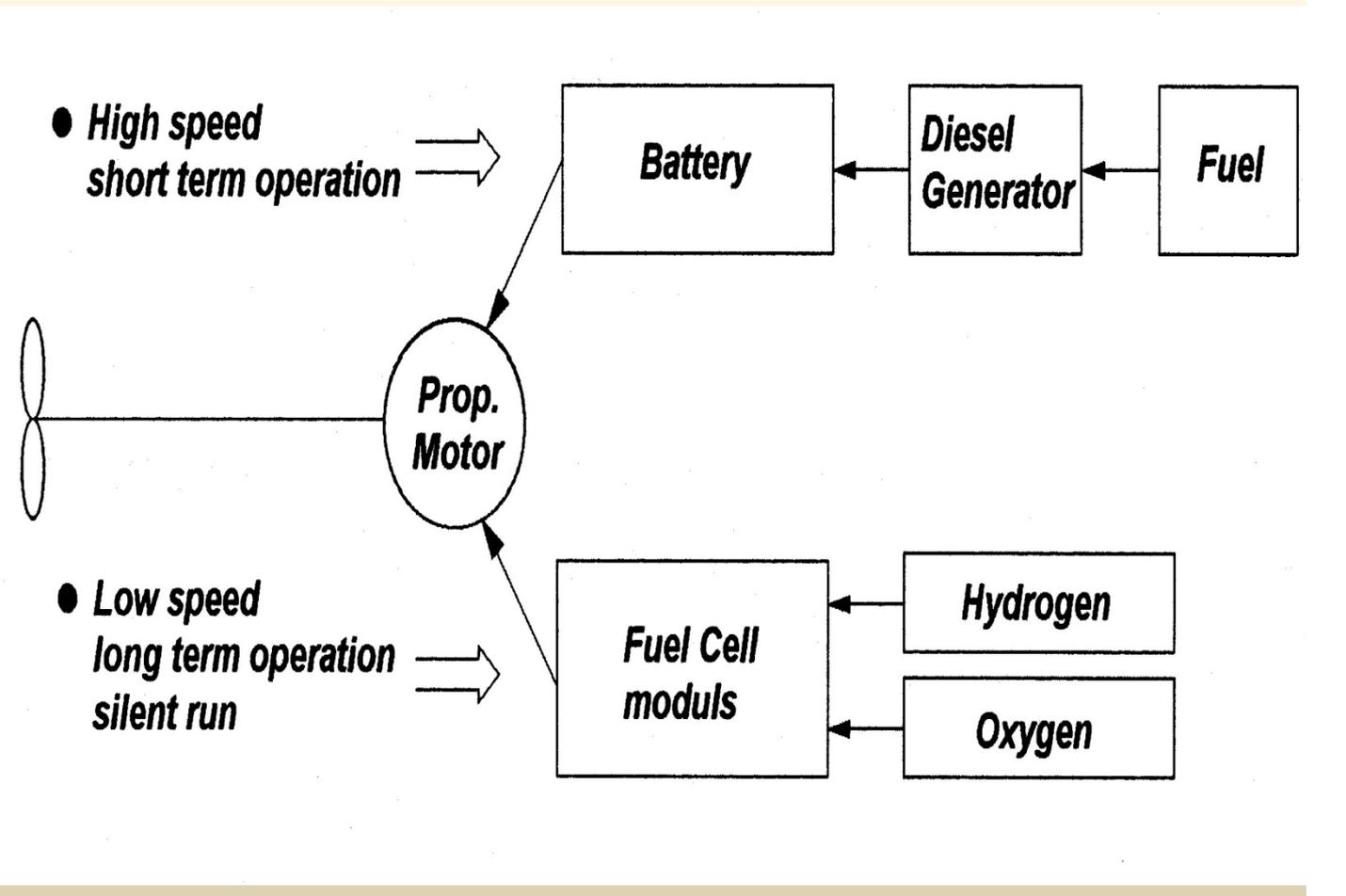
압력선체의 직경은 수직발사장치(VLS)와 같은 무기체계의 선정에 따라 결정.

■ 갑판배치

갑판사이의 높이 > 평균적인 사람의 키 + passing services (HVAC duct, lighting) = 2.4 - 2.5 m

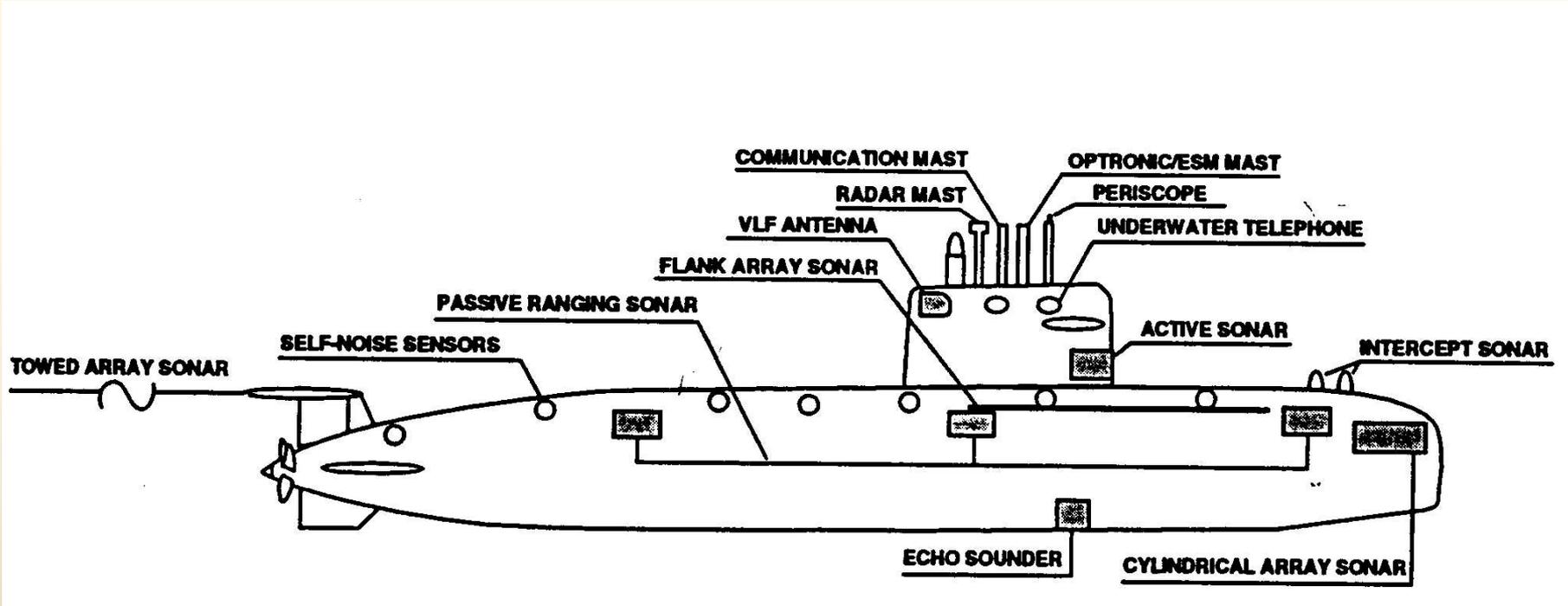
# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## Hybrid Propulsion based on Fuel Cell



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

잠수함 각종 소나 및 센서 배치 (Typical)



## 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

### 균형설계(Balance Design) 및 안정성 평가

★BV1033.2 : Stability of the Submarine  
(Federal Board of Defense Engineering and Acquisition)

항목	적용규정
수중 안정성 (BG)	320mm
수상 안정성 (GM)	200mm



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 평형 다각형(Equilibrium Polygon)

### 잠수함 중량 변화 요소

### 목표

- ◆ 해수밀도 변화에 따른 중량 증가 /감소 (Operating range : 1.019-1.030ton/m3)
- ◆ 식량, 청수, 압축공기 등 소비에 따른 함 중량 감소
- ◆ 연료유 사용에 따른 함 중량 증가



**Neutral Buoyancy & Zero Trim**

★ 어뢰/미사일 발사 후에는 어뢰 보상탱크로 중량보상을 수행하며, 이 때 발생하는 모멘트는 트림탱크를 이용함.

★ 수상함의 설계 과정에는 존재하지 않는 용어



# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 하중상태 정의(Definition of Load Cases)

Load Cases	해수밀도 (ton/m <sup>3</sup> )	변동하중 소모량 (%)								
		연료유	윤활유	증류수	압축 공기	산소 (AIP)	청수	식료품	탄약/ 신호탄	어뢰
2	1.019	90	50	50	50	0	50	50	50	0
2A						100				
2B						0				
2C						100				
3	1.030	90	50	50	50	0	50	50	50	0
3A						100				
3B						0				
3C						100				
4	1.019	50	30	90	50	0	90	90	90	0
4A						100				
4B						0				
4C						100				
5	1.030	90	50	90	50	0	90	90	90	0
5A						100				
5B						0				
5C						100				
6	1.019	90	50	90	50	0	90	90	90	0
6A						100				
6B						0				
6C						100				
7	1.030	90	50	90	50	0	90	90	90	0
7A						100				
7B						0				
7C						100				

Loading Case	Mean time operation Max cruising range			Max time operation Mean cruising range			Max time operation Max cruising range					
	2	2A	3	3A	4	4A	5	5A	6	6A	7	7A
Sea water density	min	min	max	max	min	min	max	max	min	min	max	max
Fuel oil	-90	-90	-90	-90	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90
Lubricating oil	-50	-50	-50	-50	-30	-30	-30	-30	-50	-50	-50	-50
Distilled water	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Compressed air	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Oxygen	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Fresh water	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Provision	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Consumables incl. ammunition and signal	-50	-50	-50	-50	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Torpedoes	whole	none	whole	none	whole	none	whole	none	whole	none	whole	none
Electrolyte	Nor mat	Nor mat	min	min	Nor mat	Nor mat	min	min	Nor mat	Nor mat	min	min

# 2. 잠수함 설계 특성 및 설계 일반

## 평형 다각형 계산 결과

