

잠수함 추진체계 기술현황

The State of the Art on Propulsion System for Submarine

공 영 경

Y. K. Kong



- 1956년 5월 1일생
- 1994년 한국해양대학교졸업(공박)
- 국방과학연구소 선임연구원
- 추진체계 및 MHD추진에 관심 많음

1. 개 요

잠수함추진방식은 크게 원자력 추진과 재래식 추진으로 나눌 수 있다. 최근에는 재래식 추진방식과 하이브리드 개념으로 운용될 수 있는 AIP (Air Independent Propulsion) 방식도 활발히 연구되고 있다. AIP 추진으로는 폐회로 디젤기관추진(Colsed Cycle Diesel Engine Propulsion), 연료전지추진(Fuel Cell Propulsion), 스텔링기관추진(Stirling Engine Propulsion) 및 폐회로터빈추진(Closed Cycle Turbine Propulsion) 등이 있다. 이러한 잠수함 추진체계에 대해 앞으로 크게 세부분으로 나누어 그 현황과 발전추세를 살펴보고자 한다. 즉, 초기의 순수전기추진방식으로 불리는 재래식 추진체계, 재래식 추진방식의 한계를 극복하기 위해 최근 활발히 연구되고 있는 외기와 무관한 추진장치인 폐회로 추진체계, 그리고 궁극적으로는 에너지의 문제로 귀착되어 거의 무한대의 에너지원을 가지고 있는 원자력 추진체제로 구분하여 그 현황과 발전내용을 살펴 봄으로써 잠수함 추진체계의 국내연구 개발방향정립에 조금이나마

보탬이 되었으면 합니다. 또한 차세대 추진장치로 불리는 전자유체 추진방식에 대해서는 한국박용기관 학회지 1993년 4월호 “박용전자유체(MHD) 추진장치”를 참조하시기 바랍니다.

2. 잠수함 추진체계

2.1 재래식 추진체계

재래식 잠수함 추진체계는 원자력 잠수함 체계와 대비하여 통상적으로 부르는 명칭으로서 주요 구성품으로는, 추진전동기, 디젤발전기조, 추진조종반 및 주배전반 등이 있다. 이러한 주요 구성품들은 각각 기술발전에 따라 발전되고 또한 시스템을 구성하여, 시스템 전체적으로도 발전되어왔다. 그 발전은 잠수함 전체의 운용개념과 발전추세에 밀접하게 관련되어 있다. 2차 세계대전 무렵과 초기의 잠수함운용은 수중항해보다는 고속수상기동으로 중점운용하는 관례로 추진전지나 추진전동기 보다는 수상함과 유사한 추진체계를 가지는 디젤기관 중심으로 이루어졌다. 그후 이러한 초기

추진체계는 잠수함 본연의 수중항해에 중점을 둔 추진체계로 발전되어 수중체재능력 향상에 중점을 두어 최근에는 AIP 추진체계와 하이브리드로 운용하는 추진체계로 발전되고 있다.

2.1.1 함운용개념에 따른 추진시스템 현황

2차 세계대전 전후는 수상항해에 중점을 둔 운용개념이기 때문에 수중항해보다는 수상항해 중심으로 체계가 이루어 졌다. 이러한 체계는 축계 시스템의 경우는 단축시스템 보다는 쌍축, 삼축 시스템으로 구성되었고 동력전달계통은 축전지, 추진전동기 구동보다는 디젤기관 직결로 이루어졌다.

쌍축시스템의 경우 그 특징을 살펴보면 저속디젤기관, 디젤기관 직결식 축계, 별도 저속모터, 추진모터와 발전기 겸용으로 많은 클러치와 기어장치 설치로 효율감소, 조종의 복잡성, 스노클비 증대 등의 문제점을 내포하고 있다. 이러한 추진체계는 2차 세계대전 당시에는 거의 모든 잠수함이 이와 유사한 추진방식을 채택하였으며 종전무렵에 독일에서 건조된 Type 21이 그 대표적인 잠수함으로서 그 후 구소련과 중국에서는 이러한 축계 시스템을 기본으로하여 Whiskey class, Romeo class 를 건조하여 지금까지 그 근간을 유지하고 북한도 여기에 귀속되고 있다. 이러한 것이 점차로 수중항해에 중점을 두게 되고 현대의 모든 잠수함 추

진체계에 공통적으로 적용되고 있는 단축시스템으로 발전되었다. 즉 스노클비를 감소시키고 추진 효율 증대를 위하여 디젤발전기조와 구동축계를 완전분리시킨 동력원/구동원 분리시스템으로 되었다. 그 특징으로는 고속디젤기관, 저속추진모터, 저속운전을 위한 별도 장치 구성 등이 있다. 이런 시스템도 초기에는 단축으로 인한 길이증가, 단일 구조에 의한 중량증가 등의 단점이 있었으나 구조의 단일화, 중량과 체적에 대한 에너지증대, 높은 신뢰성, 고성능 스위칭과 제어장치 등으로 극복하였다. 전력전달계통의 경우는 수상항해시에는 디젤기관을 구동하여 축전지 충전 및 함내전력공급을 하기도 하고 디젤기관직결의 경우는 직접 추진을 하기도 한다. 수중항해시에는 디젤기관 구동을 할 수 없게 되므로 축전지에서 모든 동력을 공급하게 된다.

2.1.2 속도제어의 원리와 방법

재래식 잠수함은 그 최대속도(≈25노트)까지 추진모터와 축전지의 직병렬 스위칭 조합에 의해 조종된다. 속도조종은 물론 최종적으로는 속도단계 선택 조종간으로 승조원이 조종하지만 그러한 조종간을 통해 속도선택을 하게되면 어떤 원리에 따라 속도조종이 이루어지는 것인지 그 내용을 숙지하는 것도 중요하다고 판단된다.

엄격히 말하면 디젤기관 직결식의 경우는 디젤기관속도를 직접 제어해야 된다. 그러나 현대식에서는 거의 모든 재래식 잠수함이 추진모터로 축계 구동을 하고 있으므로 여기에서는 추진모터를 속도제어 하면 되는 것이다.

추진모터의 속도제어는 속도 단계별 조종은 전기가 전압을 변경시킴으로써 조종이 가능하고 단계내에서의 미세조종은 계자(Field)전류 조정으로

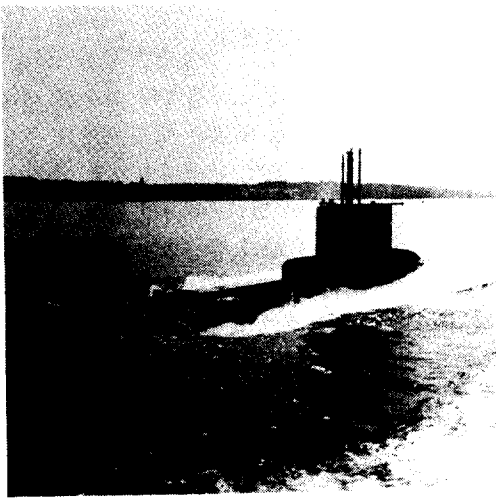


Fig. 1 209 Class Submarine with One Shaft

Table 1 The Table of Speed Step

구 분	현 재		1990년대		1990년대 이후	
	전지와 모터의 스위칭 조합제어		전력전자 및 스위칭제어		전력전자에 의한 전 속도제어	
최대속도	모터 (갯수)	전지 (그룹)	모터 (갯수)	전지 (그룹)	모터 (갯수)	전지 (그룹)
저 속	2	3	2	2	1	2
중 속	2	4	2	2	1	2
고 속	4	2×4	2	2	2	2

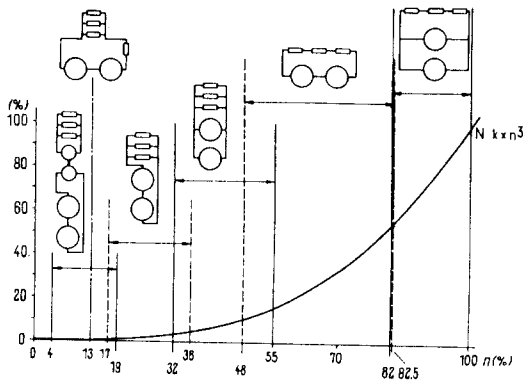


Fig. 2 Speed Step by Combination of Battery and Motor

가능하다. 이러한 내용을 종합적으로 설명하면 Fig. 2 및 Table 1과 같다.

2.1.3 주요장비구성에 의한 추진시스템 현황
추진시스템의 주요 구성장비로는 디젤발전기, 연축전지, 이중전기자형 직류전동기 등이다. 이러한 구성장비들에 의해 재래식 추진체계도 함께 발전되어왔다. 여기서는 디젤기관 직결식은 다루지 않기로 한다. 1970년대 이전의 추진시스템은 Fig. 3과 같이 일반적 성능의 연축전지, 기계적 동일축 케이스내에 전기적으로는 두대의 모터인 이중전기자형 직류전동기와 축전지 충전을 위한 M/G set 장비 등으로 구성되었다.

이러한 추진시스템이 점차적으로 저소음, 고효율, 가용성 및 자동화 요구에 따라 직류발전기는 정류장치가 내장된 브러시레스 동기발전기로, 조종장치는 컴퓨터가 내장된 디지털자동속도조종장치로, 저속 운전을 위한 M/G set 장비는 다이리스터 효퍼제어장비로 전환 Fig. 4와 같이 발전되었다.

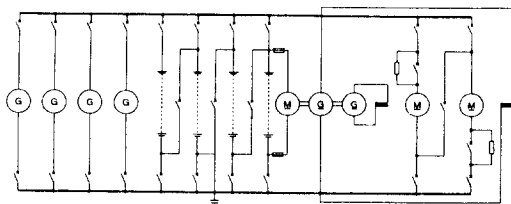


Fig. 3 Electric Propulsion System of the Seventies

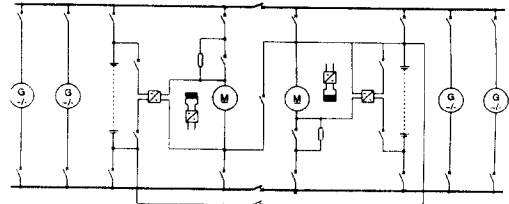


Fig. 4 Electric Propulsion System of the Eighties

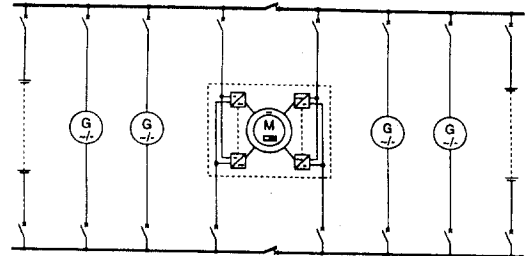


Fig. 5 Electric Propulsion System of the Nineties

1980년대의 전기추진 시스템도 속도단계 조정을 위해서는 스위칭 조합이 이루어져야만 된다. 그러나 이러한 단점 극복을 위해서는 추진모터나 전지분야의 획기적인 개선없이는 불가능하다. 이러한 추세에 맞추어 개발되고 있는 것이 전속도 단계 조정이 가능한 인버터 제어식 영구자석형 동기 전동기이다. 이 전동기는 기존 직류기와 비교하여 동일 출력기준으로 볼때 출력 및 중량이 훨씬 줄어든 고성능의 전동기이다. Fig. 5는 1990년대 전기추진 시스템이다.

2.1.3 주요장비 최신 개발 현황

2.1.3.1 추진전동기

기존 추진전동기로 사용되고 있는 직류전동기는 정류자와 브러시에 대해 정기적인 보수 및 점검이 필수적이고 속도단계 조정을 위해 이중 전지 자형으로 되어야 하는 관계로 상대적으로 큰 체적과 중량이 요구되는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점과 제한점들을 극복하기 위하여 제재소, 콘베어 장치 및 롤링 장치 등에 사용되고 있는 저속모터에 대해 새로운 전동기 적용을 위한 가능성검토를 수행하였다. 즉 영구자석형 동기전동기, 전자석형 동기전동기, 농형 유도전동기 및 릴럭턴스 전동기에 대해 효율, 중량/체적, 소음, 전자기적 적합성, 정비신뢰성/용이성 및 비용 등에 대해 검토

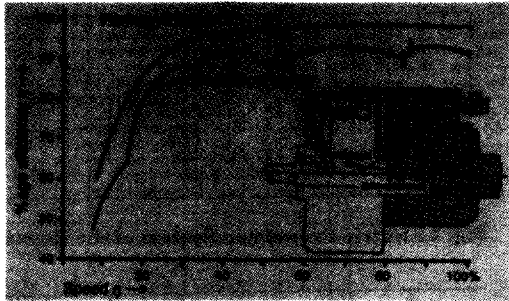


Fig. 6 The Comparison of Conventional DC Motor and New Synchronous Motor

한 결과 부분 부하효율 특성 및 중량/체적면에서 다른 전동기와 비교하여 월등히 우수한 특성을 지니고 있어 영구자석형 동기전동기 개발이 최적임을 결론 지었다. 이러한 일반적 결론에 의거하여 지금현재 전세계적으로 볼때 재래식 잠수함 건조국들을 중심으로 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 프랑스의 Jeumont Schneider, 독일의 BBC, Siemens, 스웨덴의 ABB에서 개발중이다. 프랑스의 Jeumont Schneider사 경우 지금 현재 400kW, 500RPM 전동기를 제작, 시험중에 있으며, 프랑스 해군에서는 앞으로 SSBN LE TRIOMPHANT Class에 이 전동기를 채택하기로 결정하였다.

독일의 경우 70kW급, 1095kW 230 RPM 전동기를 제작하여 시제품 시험을 완료하였고 잠수함 용으로는 4MW급 전동기를 설계완료한 단계에 있다. Fig. 6은 기존 직류 모터와 새로운 동기 모터의 비교를 나타내 주고 있다.

이러한 동기전동기가 향후 실용화 되기 위해서는 인버터 부분에서 발생되는 파형 고조파 함유에 의한 토오크 리플 제거 및 전기적 소음, 진동 대책, 영구자석의 약화방지책, 권선 절연이상 발생시 인버터 부분의 문제유발 및 회전자 위치검출 등

과 같은 센서감지기술 등이 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

2.1.3.2 추진전지

재래식 전기추진 방식의 경우 동력원으로써 지금까지 연축전지가 지속적으로 사용되고 있다. 물론 초기의 사용시 보다 그 성능면에서는 월등히 우수한 축전지이다. 잠수함용 축전지로서써 갖추어야 할 요구조건으로는 내충격, 적은 가스발생, 효과적인 전해액 시스템, 효율적인 냉각시스템 및 합 에너지 요구성능 충족 등이 있다. 기술적으로는 최근에 이르러 CSM(Copper Stretch Metal) 및 Double Decker 연축전지 기술로 발전되었다. 지금 현재 재래식 잠수함에 탑재되어 있는 연축전지의 특성은 Table 2와 같다.

연축전지의 경우 성능향상에 그 한계가 있고 수소가스발생 및 낮은 에너지밀도 때문에 새로운 전지적용을 위한 연구가 각국에서 진행되고 있다. 그중 Lithium Aluminum Iron Sulfide Battery는 영국의 Vickers Shipbuilding과 Admiralty Research Establishment에서 잠수함 적용을 목

Table 2 The Characteristic Data for Lead Acid Battery

형식	단위	A	B	C	
크기	폭	cm	45.0	45.6	142.1
	높이	cm	149.0	128.0	142.1
	체적	l	194.0	210.1	185.4
중량	kg	555.0	602.0	520.0	
용량	1h	Ah	7029	7860	7667
	100h	Ah	13170	16300	12450
	1h	Wh	11450	12740	13030
	100h	Wh	29950	32110	24900

Table 3 Lithium/Sodium Sulphur Battery

내용	Lithium	Sodium Sulphur
반응식	$2(Li.Al) + FeS \cdot Li_2S + Fe$	$2Na + 5S \cdot Na_2S_5$ $2Na + 4Na_2S_5 \cdot 5Na_2S_4$ $2Na + 4Na_2S_4 \leftrightarrow 4Na_2S_3$
작동온도	450℃	300℃
전해액 및 전압	molten eutectic containing Li-ions 1.35V	2.08~1.81V

Table 4 The Various Battery for Application.

	1	2	3	4	5	6	7	
명 칭	연축전지	니켈카드뮴	Na/S	Na/NiCl ₂ (Zebra)	Li/FeS (LAIS)	Zn/Br	Li - C/MnO ₂ (swing)	
양 극	PbO ₂ 고형	NiOOH 고형	S 액상	NiCl ₂ 고형	FeS 고형	Br 액상	LixMnO ₂ 고형	
음 극	Pb 고형	Cd 고형	Na 액상	Na 액상	Li(Al) 고형	Zn 고형	LixC 고형	
전 해 액	묾은 황산, 액상	묾은 수산화 칼륨, 액상	β - Al ₂ O ₃ , 고형	β - Al ₂ O ₃ NaAlCl ₄ 고형/액상	LiF, LiCl, LiBr, KX, MgO 액상	Zn Br Polybromine 혼합액상	유기질액상	
작동온도	실온	실온	300℃	300℃	450℃	실온	실온	
무부하전압(V)	2.0	1.3	2.1	2.58	1.35	1.82	3.5	
중 량 에너지 밀 도	이론값	161	236	795	719	560	438	450 이상
	실제값	20 - 40(55)*	20 - 40	100 - 120	90 - 100	90 - 100	65 - 70	100
체적 에너지 밀도	60 - 100(60)*	40 - 60	120	100 - 120	160 - 200**	60 - 70	200	

* : 100시간을

** : 추정값

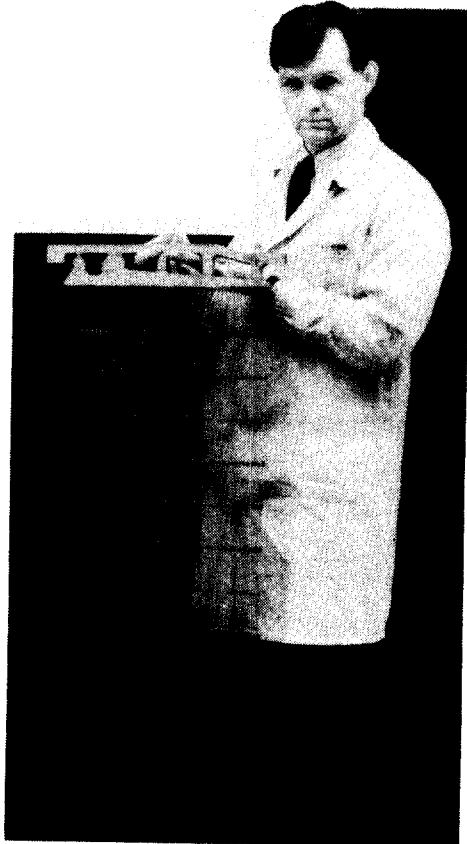


Fig. 7 The Plate of Lead Acid Battery

표로 연구중에 있다. 1993년 까지 탑재용 시제품 제작을 완료하여 1995년 부터 생산할 계획을 가지고 있다. Sodium Sulphur 전지는 음극 Na, 양극 S을 사용한 전지로서 이것은 독일에서 건조 계획 중인 Type 212 재래식 잠수함에 탑재계획을 가지고 있다. Table 3은 리튬전지와 Sodium Sulphur 전지 비교를 나타내 주고 있다.

그 밖에 새로운 전지로서 잠수함 탑재 가능한 여러가지 전지에 대한 그 특성을 살펴보면 Table 4와 같다.

잠수함용 동력원으로서 지금까지 사용되어지고 있는 연축전지가 다른 전지와 비교하여 경제성, 신뢰성 면에서 월등히 우수하기 때문에 아직까지는 연축전지 사용이 계속될 전망이다. 그러나 새로운 전지에 대한 연구개발도 지속적으로 진행될 것으로 예측이 되어 국내에서도 지속적인 관심과 개발이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 7은 연축전지 극판을 보이고 있다.

2.2 폐회로 추진체계

2.2.1 폐회로 추진장치 개발 현황

재래식 잠수함의 최대 단점인 스노클을 없애기 위해 그동안 많은 노력을 기울여 왔다. 그러한 노력의 일환으로 외기와 무관한 폐회로 추진장치 개발이 활발히 연구되고 있다. 폐회로 추진장치는 각 유형별로 자국에서 적극적으로 개발을 추진,

Table 5 AIP System

구 분	폐회로 디젤기관	연료전지	스터링 기관	폐회로 가스터빈
개발 국가	독일, 네덜란드	독일	스웨덴	프랑스
개발 단계	육상시험 완료, 해상시험 완료 (1993, 독)	육상시험 완료, 해상시험 완료 (1991, 독)	육상시험 완료, 해상시험 완료 (1989, 스웨덴)	육상시험 완료, 해상시험 단계
적용 계획	-	Type 212(독일)	Collins(오스트레일리아)	-
육상시험용량	150Kw	100Kw	75Kw	-
비 고	개발위험성 적음	저소음	선진화된 기술	소형화

Table 6 The Advantages and Disadvantages of AIP System.

구 분	장 점	단 점
폐회로 디젤기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조가 간단함 ○ 경제성 있음 ○ 구성장비 개발 용이 ○ 개발 위험성 적음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소음이 큼 ○ 상대적으로 낮은 내구성 ○ 제한적인 수명 ○ 수심에 의존
스터링 기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상대적으로 높은 내구성 ○ 긴 수명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복잡성 ○ 적은 소음 ○ 고가 ○ 부식 문제
연료 전지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저소음 ○ 높은 내구성 ○ 연료의 다양성 ○ 선진화된 기술 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고도의 기술 요함 ○ 제한된 공급 물량
폐회로 가스터빈	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소형화 ○ 긴 수명 ○ 개발 위험 적음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상대적으로 소음이 큼 ○ 개발이 완료되지 않음

육상시험 및 해상시험 까지 완료한 시점에 이르고 있다. 유형별 국가별 개발현황 및 장단점 비교는 Table 5, 6 과 같다.

2.2.2 운용개념

초기의 수중 체재 시간은 12시간 정도가 고작이고 재충전을 위해 수면 부상이 필연적이었다. 그러던 것이 2차 세계대전시에는 레이다의 출현으로 수상항해가 곤란하게 되어 스노클(snorkel)이 도입되었다. 2차 세계대전 후 원자력 추진이 도입되어 잠수함기술 및 잠수함전에 혁신을 가져왔다. 그러나 재래식 추진방식은 원자력추진과 비교하여 정숙하고 획득비용이 저렴하기 때문에 계속해서 사용되고 있다. 탑재 기기류 및 함수품 결정을 위해 고려해야 할 사항들이 많이 있다. 경비, 시간, 이동 거리, 방사소음, 신뢰성, 취급 및 저장 안전과

산소 공급 및 공기정화를 포함한 함내 환경조건 등이 있다.

2차 세계대전시에서의 충전은 수상충전과 마찬가지로 60~80% 방전된 전지의 충전시간인 4~5시간의 스노클이 소요된다. 충전 방식은 가스 전압이 2.4V에 도달될때까지는 고전류로 충전하고 그 이후는 정전압 유지로 2단계 충전을 실시 일정 전류가 될 때까지 충전한다. 이때 운용상 주위의 경계를 위해 "Stop and Listen" 혹은 ECM이 항공기 경고를 가르키게 되면 충전을 일시 중단하게 한다.

일정지역을 저속 경비할 때 스노클비는 6~7%로 아주 낮다. 이것은 스노클해도 큰 위험사태를 불러 일으키지 않을 때는 문제 되지 않는다. 그러나 이동할 때에는 상황이 크게 달라진다. 이때에는 가능한 한 스노클 사용은 최소화 되도록 해야 한다. 주어진 평균 이동속도에서 일반적으로 스노클

을 최소화 하는 수중속도(electric speed)와 스노클 속도 사이에는 어떤 관계가 있다. 첫번째 경우에서 상당한 심도에서 일정 속도로 목적지까지 향해 후 항해속도 제로(zero)인 상태에서 스노클 충전을 하는 방법이 있고, 두번째 경우는 첫번째 경우의 속도보다 낮추어 출발점부터 목적지까지 스노클을 포함하여 똑같은 속도로 항해하는 경우가 있다. 마지막으로 수중 속도는 더 낮추고 그대신 스노클 기간 동안에 속도를 높이는 경우를 생각할 수 있다. 에너지 소모측면에서 볼 때 두번째 경우가 유리하고 또한 스노클 시간을 최소화 하는 운용이 될 수 있음을 알 수 있다. 또한 충전 단계에 있어서 제 2단계 돌입 시점에는 디젤기관 출력에 여유가 있게 된다. 이때 그 여유 출력을 추진 속력을 높여 운용하게 되면 이동속도를 전체적으로 높일 수 있어 시간을 단축 운용하게 되는 잇점이 있다. 전체적으로 재래식 추진 잠수함의 바람직한

운용 형태는 다음 Fig. 8과 같다.

재래식 추진 잠수함 운용은 Fig. 9와 같이 스노클 없이 아주 저속으로 4~7일 정도가 가능하다. 이때에는 물론 공격 받을 위험성은 적다. 2시간 이후 전지는 방전된 상태이고 잠수함은 재충전 하기 위해 스노클 해야 한다. 이때에는 적으로부터 공격받을 위험성이 높다. 그러나 폐회로 추진이 탑재됨으로써 다음과 같은 잇점이 얻어진다. 즉, 연료와 액화산소의 추가 공급으로 잠수함 내구력 향상, 스노클 없이 운용되는 영역이 상당히 확대되고 스노클 없이 운용시킬 수 있는 상황 선택이 자유로워지고 착저상태에서 폐회로 추진장치에 의해 전지충전도 가능하게 된다.

폐회로 추진시스템을 기존의 재래식 잠수함에 하이브리드 개념으로 탑재시 주요 설계특성은 톤수는 10% 정도, 내구력은 4~5배 정도 증가하고 최대속도는 1~2노트 정도, 스노클 비율은 50% 정도 감소된다.

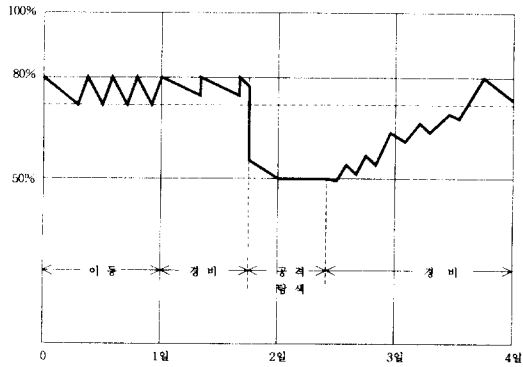


Fig. 8 The Operational Concept of Conventional Submarine

2.2.3 폐회로 디젤기관 시스템

폐회로 추진시스템으로서 세계적으로 가장 잘 알려진 몇가지에 대해 그 개발 경위, 현황 등에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

이 시스템에 대한 최초의 개념은 2차 세계대전 시 독일에서 수립되어 실험까지 수행한 것으로 되어 있다. 실험에서 배기가스 배출 문제가 대두되었던 것으로 알려져 있다. 그러던 것이 최근에 그 필요성에 따라 1982년 영국 Newcastle 대학에서 새로운 개념의 해수처리장치를 포함하여 25kW급 시험장치를 제작하였다. 여기에서 수심에 무관하게 배기가스 배출을 위해 Cosworth Engineering 사는 해수처리장치(Water Management System)를 도입하였다. 1985년에 독일의 Thyssen Nordseewerke(TNSW) 조선소와 네덜란드의 RDM 조선소는 이것을 발전시켜 잠수함 적용 연구를 시작하였다. 1986년 부터 1989년 까지 양 조선소는 120~150kW급 육상시험장치를 제작하여 시험하였다.

이러한 시험 결과들을 토대로 영국 Kettering에 있는 Carlton Deep Sea System(CDSS) 사에 580 kW 급, 네덜란드 Rotterdam에 450kW 급 시스템

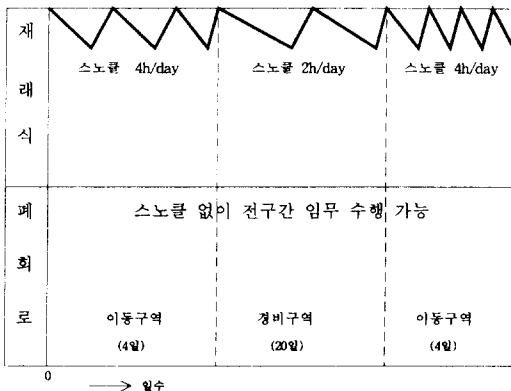


Fig. 9 The Operational Concept of AIP Submarine

을 꾸미기에 이르렀다. TNSW와 RDM은 해상시험을 위해 독일 205 잠수함 U1을 이용하기로 하였고 여기에 CDSS 까지 포함된 3사가 공동참여하기로 협약을 맺었다. 이 작업은 U1 잠수함이 1991년 11월에 Thyssen 조선소로 옮겨졌고, 1992년 1~2월에 주요 구성품들인 MTU 디젤, 해수처리장치 및 흡수기 등이 영국 Kettering CDSS 사에서 시험이 이루어지고 조선소에서 배관, 배선작업 등을 완료, 1992년 9월에 탑재완료, 1992년 11월 13일에 진수시켜 승조원훈련 및 조정작업을 거쳐 1993년 2월에 해상시험을 시작하였다. SAT는 1993년 4월에 완료되고 이 배는 현재 Thyssen 조선소에 위치하고 있다. 이 시스템의 원리는 폐회로 모드에서 약 300~400℃, 3bar 정도의 배기가 80~100℃ 정도로 냉각되어 흡수기로 보내져 필요한 양만큼 다시 엔진으로 보내지고 나머지는 해수처리

Table 7 SAT System

품 명	수량	사 양
디젤 기관	1	Type 8V 183 TE52 250Kw/1500rpm
발전기	1	직류
해수처리장치	1	Mk 3
저압 펌프	1	50 l/s
고압 펌프	1	50 l/s
액화산소 탱크	1	1.5 ton
아르곤 탱크	7	
CO ₂ 흡수기	1	Dornier System
자동 제어 장치	1	
자료 획득 장치	1	
분전반	5	흡수기, 펌프 등의 직류 모터 기동기용

Table 8 The Main Test Data

주요시험항목	주요시험결과
○ CCD 안전 계통 시험	○ 소음 수준은 재래식 추진 시스템 수준 만족
○ LOX 주입 및 기능 시험	○ Closed Cycle 모드가 open cycle에 비해 연료 소모가 5% 많음
○ Open Cycle 에서의 CCD 운전	○ 보조 동력은 디젤동력의 15% 정도 소요
○ Closed Cycle 에서 CCD 운전	○ 컴퓨터 작동
○ 음향 측정	

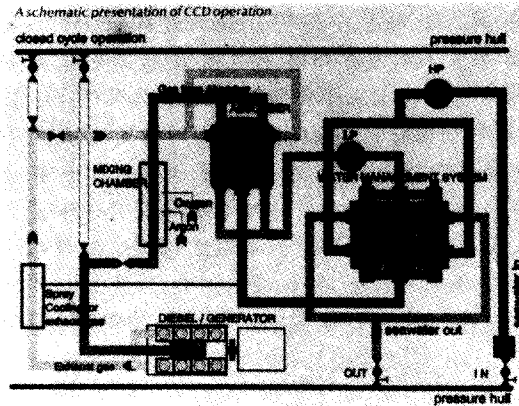


Fig. 10 CCDE Propulsion System

장치를 통해 외부로 배출된다.

SAT에 사용된 시스템은 Table 7과 같이 250kW급이다. Table 8 및 Fig. 10은 주요 시험내용과 개념도를 나타내 주고 있다.

2.2.4 스테링기관 시스템

디젤기관이 대표적인 내연기관인 반면 스테링기관은 외연기관이다. 압축 팽창에 관해서는 내연기관과 비슷하나 피스톤이 Closed Helium 작동 가스 시스템에서 작동하는 것과 열이 열교환기를 통하여 사이클에 연속적으로 전달되는 점이 다르다. 대부분의 스테링 기관은 Double Acting 원리에 근거하고 있다. 즉, 피스톤이 두개의 기능을 가지고 있다. Hot/Cold 측 사이에 가스를 전, 후부로 이동시켜 구동축에 기계적 힘을 전달시키는 것이다.

가장 간단한 스테링 과정은 두개의 피스톤 구조로 설명할 수 있다. 한쪽은 냉각 공간, 한쪽은 열간 공간에서 작동된다. 작동가스는 피스톤 사이에서 냉각, 열간공간 사이를 전, 후진 하면서 움직이고 계속적으로 냉각, 열간되는 것이다. 스테링 기관의 작동열원은 디젤과 순수 산소를 이용한 외기와 무관한 연소 시스템에서 발생된다. 연소압력은 일정하고, 20bar로 조정한다. 200m 까지 배기가스 압축기 이용없이 작동이 가능하고 연소생성물은 물과 이산화탄소로서 쉽게 해수에 용해된다. 4000℃의 단열 연소온도를 발생함과 순수 산소를 이용한 디젤유의 압력 연소 제어에 있어 배기가스 재순환이 적정 수준까지의 연소온도를 감소시키는데 이용된다. 배기가스의 냉각은 연소생성물들을 아주

Table 9 The Characteristics of Main Engine

기관형식		V4-275R		4-95S		12-2100
작동가스		H ₂	He	H ₂	He	He
연속출력	Kw	85	65	10-25	10-20	600
회전수	rpm	2000	2000	1800	1800	700
산소소모율	g/kwh	820	950	900	1050	900
속도범위	rpm	1500-2600		1000-3000		500-900
무게	kg	750		350		6500
크기(길이×폭×높이)	m	0.8×0.8×1.4		0.9×0.7×0.7		2×1.7×2

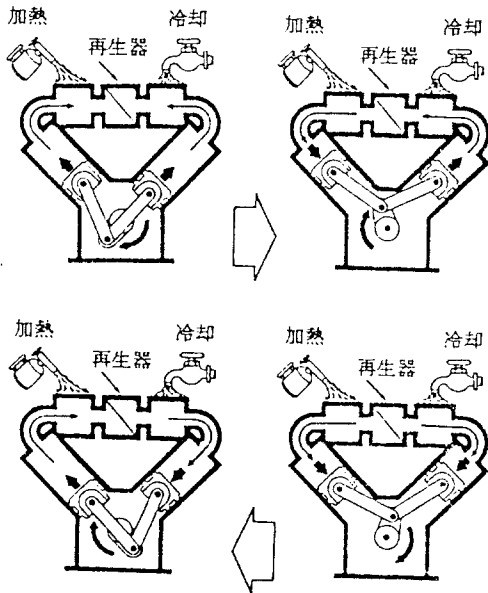


Fig. 11 The Operational Principle of Stirling Engine



Fig. 12 4-95 S Stirling Engine

낮은 온도에서 함외배출이 가능케 하여 적외선 방사를 최소화 시킨다. 따라서 스텔링 사이클은 왕복 내연기관과 비교하여 낮은 사이클 토오크 변화와 낮은 수준의 진동소음 특성을 가지게 된다. 이

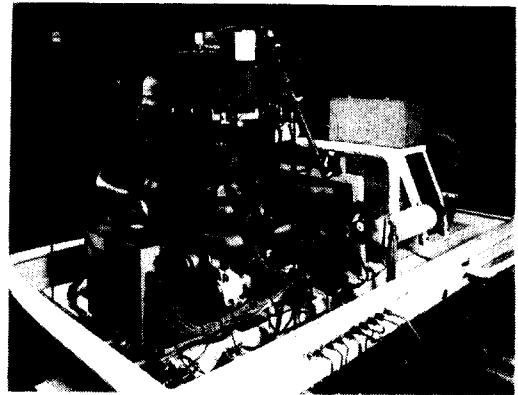


Fig. 13 The land based system for stirling engine

러한 특성은 군사이용 목적에는 아주 중요하다. V4-275R 엔진은 출력 축기어를 없애고 진동소음을 최소화시킨 잠수함용으로 설계, 제작된 것이다. 275cm³의 작동 체적을 가진 것이 4개 있고, R은 원형의 재생기와 냉각기를 의미한다.

기관은 크랭크 케이스, 실린더 블럭 및 히터의 3부분으로 나누어진다. 그밖에 4-95S, 12-2100 기관에 대한 특성은 Table 9와 같다. Fig. 11은 스텔링기관 작동원리를 나타낸다. Fig. 12, 13은 각각 4-95 S 스텔링기관 및 스텔링 기관 육상시험장치를 나타내 보이고 있다.

수중연소 시스템은 크게 두가지로 특징 지워진다. 즉 외부수압과 동일한 고압연소, 디젤유와 순수 산소의 연소이다. 연소실은 20bar 정도 유지가 가능한 압력용기로 만들어져 있고, 배기라인에 연결된 배압밸브는 연소실 압력에 영향을 미칠 수 있는 외부수압을 방지한다. 수심 200m까지는 배기가스 압축기나 용해시스템 없이 함외배출이 가능하며 그 이상에서는 압력비 3:1 정도의 배기가스 압축을 해 줌으로써 600m까지 작동 가능하다.

적용에 있어서 주추진기관으로서 보다는 기존 연축전지와 하이브리드 개념으로의 적용이 우선적이다. 1000톤급 재래식 잠수함의 경우, 70kW급 스테링 기관을 두대 이용하면 된다. 수중 내구력은 저장되는 산소량에 좌우된다. 그러므로 액화산소 탱크 크기는 추가되는 선체 부분의 체적을 규정하게 될 것이다. 실물 크기의 시험장치가 1985년초 Kockums에서 진수되었다. "Kraftmyggan" 라고 명명된 이 시험장치는 TLLMA Project로서 추진되었다. 이것을 발판으로 하여 스웨덴 해군에서는 1988년초 Ncken 잠수함에 스테링 기관 시스템을 추가하기로 하였다. TIN-TIN Project로 8m 길이 선체를 추가 설치, 1988년 11월에 해상 시운전을 시작하여 그 시험 결과 충분한 기술적, 전술적 성능이 입증되어 AIP 장치로서 세계 최초의 해상 시운전을 완료하였다.

2.2.5 연료전지 시스템

연료전지 시스템은 타 시스템과 비교하여 효율 및 소음측면에서 월등히 우수하여 AIP 장치로서 큰 각광을 받고 있다. 본 연료전지는 군사용 뿐만 아니라 산업용으로도 널리 연구되고 있다. 현재 가장 일반적으로 연구되고 있는 연료전지는 Table 10과 같다.

Table 10에서 나타난 바와 같이 특수용으로 사용되는 연료전지 형태는 알칼리형 연료전지로서 타 연료전지와 비교하여 효율이 높기 때문에 이러한 용도로 적합한 것으로 판단된다.

연료전지는 화학적 에너지를 직류전기로 변환시키는 것으로서 물 전기분해의 역반응이다. 연료는 수소와 산소를 이용하는 것으로서 그 원리는 오

래전부터 알려져 온 바이며, 소형잠수체 등에서 소규모로 사용되어져 왔다. 잠수함 적용을 위해 주목되기 시작한 시점은 1980년대에 들어서이다. 연료전지는 회전부분이 없기 때문에 소음이 없는 것이 가장 큰 특징으로서 직접 전류를 얻을 수 있다. 초기의 소형잠수체 등에서 수소나 산소를 별도로 고압 용기에 보관하고 이 보관량의 제약에서 행동반경 및 시간의 제약이 따른다. 그러나 수소나 산소의 대량 보관하는 방법의 발견으로 실용화에 접근하기에 이르렀다. 산소는 액화산소(-180℃ 극저온) 형태로 단열 고압용기에, 수소는 철, 티타늄 합금의 수소 화합물에 흡착시켜 보관하는 방법이다. 연료전지의 성능은 전극 구조 크기나 단위전지를 접속하는 수에 의해 결정되는 바, 직렬접속 수로써 전압, 병렬접속 수로써 전류 용량이 결정된다. 전지에서 얻어진 전원은 주 배전반에 보내어지고 거기에서 주 전동기 및 일반 함내전원으로 공급한다. 주 전지와 병렬 운전도 가능하다. 완전 충전이 되면 전원 회로에서 분리시키고 필요시 사용되도록 한다.

연료전지를 기동시킬 때에는 수소 화합물에서 수소 추출과 액화산소를 기화시키기 위해 약간의 에너지가 필요하게 된다. 이 전원은 부하가 적을때 특히 효율이 좋고 열손실도 적게 되므로 모든 작동 상태에서 충분히 반응 유지가 가능하고 반응의 부수적인 것으로서 물이 생성되기 때문에 함내에서 처리되므로 전체적으로 중량 변화가 없게 된다. 또한 보통 연료를 연소시키는 경우에 생성물을 함 외에 배출시킬 필요가 없게 되어, 소음을 발생하는 압축기가 필요없고 함외에 온도차에 의한 항적을 남기지 않게 된다. 관련 분야 개발의 진척에 따라

Table 10 The Various Fuel Cells

내 용	인산형 (Phosphoric Acid)	알칼리형 (Alkaline)	용융탄산염형 (Molten Carbonate)	고체 전해질형 (Solid Oxide)
불순물 허용도	보통	낮음	높음	높음
작동 온도(℃)	200	80~100	600	1000
전기적 효율(%)	40	70	55	45
개발단계	실용화	실용화	초기	초기
시동시간	보통	빠름	보통	늦음
용 도	산업용	군사용 및 특수용도	산업용	일반산업용



Fig. 14 The Land Based Fuel Cell System



Fig. 15 The Fuel Cell Submarine

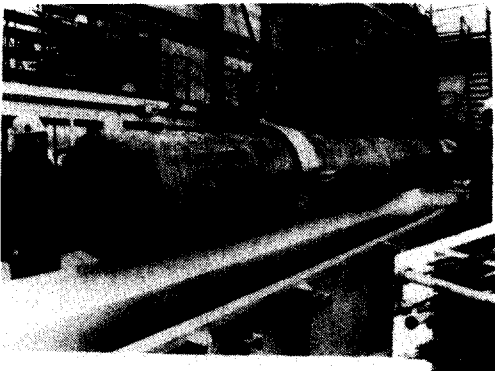


Fig. 16 The Hydrogen Stored System

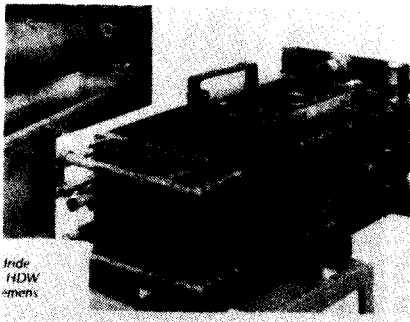


Fig. 17 The Prototype of Fuel Cell

개발 착수 4년후인 1984년에 육상시험 설비를 가동하게 되었고, 100kW 발전에 성공하였다. 1986년 육상에서 350 시간의 공식 연속 운전시험이 수행되어졌고, 실 충전도 함께 진행되었다. 이 무렵 독일 205형 U-1 함교 전방에 3.8m 연료전지부를 삽입하는 작업이 진행되어 1988년 부터 1989년 초까지 55일간 해상시험이 이루어졌다. 연료전지로서 5.5노트 속력으로 45시간 수중 항해에 성공하였다. Fig. 14은 연료전지 육상시험장치이다. Fig. 15, 16, 17은 각각 연료전지 탑재 잠수함, 수소저장장치 및 연료전지를 보여주고 있다.

2.2.6 폐회로 터빈시스템

프랑스 Bertin 회사는 10년 이상을 폐회로 터빈 시스템(MESMA)을 개발하여 왔다. 1992년 DCN과 Bertin 두 회사는 공동연구하기로 하고, 185kW MESMA 개발을 결정하였다. MESMA는 Fig. 18과 같이 Rankine Cycle(증기터빈)에 근거하여 어떤 수심에서도 엔진 작동이 가능토록 한 것이다.

액화산소는 2-10bar 정도의 저압과 -185℃ 정도의 저온으로 보존되고 이것이 저온 펌프에 의해 히터로 보내어져 여기에서 60bar 정도로 압력을 상승시키고, 그때 열을 기화시키는데 이용된다. 기화된 산소와 연료는 연소실에서 함께 혼합 연소에 이용된다. 기화된 산소와 연료는 연소실에서 함께 혼합 연소시키고 700℃, 60bar 고온고압의 가스를 발생시키게 된다. 이 가스는 증기발생기를 통하여 응축기로 보내지게 된다. 고압상태이기 때문에 어떤 압축기없이 배출이 가능하다. 증

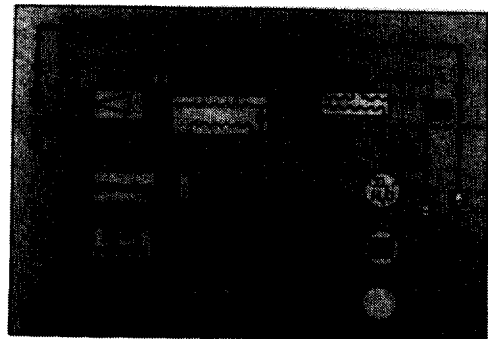


Fig. 18 The Operational Principle of MESMA

기발생기의 2차측 회로는 재래의 증기터빈 작동과 동일하다. 터빈은 발전기를 돌려서 전기를 발생시켜 함내에 전원을 공급하게 된다.

Bertin 회사는 메탄올(CH₃OH)을 연료로 사용하였다. 시험 결과 만족할 만한 결과를 얻었으나 적용상에 있어 인체에 독성이 있어 독성이 적은 에탄올(C₂H₅OH)을 연료로 사용하는 문제를 적극 검토하고 있다. 산소 보존방법에 있어서는 두가지 방안이 있다. 즉 고압 보존 방법과 저압 보존 방법이 있다. 고압 보존 방법이 저압 보존 방법에 비해 추가 펌프가 필요치 않기 때문에 에너지 절약이 되고 소음 수준 감소 등의 잇점이 있으나 시스템 적용에 있어서는 불리한 점을 가지고 있어 저압 보존 방법을 채택하고 있다. 연소 생성물인 이산화탄소와 물은 배출되기 전에 응축시켜 함내에 보관한다. 1차측과 2차측 회로연결부분은 증기발생기이다.

1차측 회로의 열출력은 400kW 이고, 에탄올 연료 사용을 위한 시험결과 양호한 결과를 얻었다. 점화 문제에 있어서는 초기에는 여러가지 문제점들이 나타났다. 연소실 점화기의 관통이 모든 산소와 연료 분무의 연소를 일으키는데 충분치 않은 점과 점화기 사용횟수가 15회를 넘지 못하였으나, 점화기가 설치된 끝 부분에 압축 실린더를 채택하고 점화기는 텅스텐 전극을 사용하는 방법으로 개선하여 점화 문제들을 해결하였다. 시험은 열출력 200kW로 조정 운전되었으며 효율 95% 정도를 얻었다. 2000톤급 잠수함에 직경 6.2m, 길이 10m 내외의 180kW급 MESMA 시스템을 탑재시 Table 11과 같은 성능을 나타낸다.

지금 현재 프랑스 DCN에서는 이 시스템을 잠수함에 탑재, 시험을 계획하고 있다.

Table 11 MESMA Performance

속 도	2 노트	3 노트	4 노트
보조동력	90Kw	110Kw	130Kw
지속시간	230(300)*	215(260)*	195(235)*
비 고	○ MESMA 출력 180Kw, 액화산소 용적 30m ³ 기준 ○ *는 최대출력 운전으로 전지 동시 충전시 ○ 재래식과 비교 약 3배 정도 향상		

2.3 원자력 추진체계

원자력 잠수함은 세계 최초로 1954년 미국에서 Nautilus 잠수함을 건조하여 1955년 역사적으로 원자력에 의한 항해를 성공한 이래 오늘날에 잠수함의 대표적인 위치를 점하고 있다. 최근에는 원자력을 주 추진체계로서 뿐만 아니라 재래식 잠수함에서 보조 추진체계로서 소형 원자력 추진 적용을 위한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 세계적인 추세를 좇아 본고에서는 원자력 추진체계에 대해 여러가지를 살펴보고자 한다.

2.3.1 원자력

2차 세계대전의 종말을 가져온 핵 폭탄도 핵 에너지를 이용한 것으로서 평화적인 이용목적으로 볼 때 무한한 에너지원인 원자력 발전에서 부터 인류의 종말을 가져올 수도 있는 핵무기에 이르기까지 그 용도는 다양하다. 이러한 용도에 따라 원자력은 어떻게 다른가를 살펴보는 것도 상당히 의미 있을 것이다. 1983년 한(O.Hahn)과 스트라스만(F.Strassmann)이 최초로 핵분열 현상을 발견한 이래 1942년 미국에서 최초의 원자로인 시카고 파일(CP-1)의 건설이 페르미 주도로 착수되어 원자력 시대가 개막됐다. 그러나 이것은 1945년 히로시마와 나가사키에 투하된 두개의 원자탄으로 나타나게 되었고 원자력이 평화적으로 이용된 것은 공교롭게도 1954년 세계 최초의 핵 잠수함 노틸러스호의 가압 경수로가 그 시초다. 핵 반응 물질의 기본이 되고 있는 우라늄에 있어서 자연상태의 우라늄은 우라늄 235의 농축도가 0.7%에 불과해 대부분의 중성자가 외부로 누출되거나 우라늄 238에 흡수돼 버리기 때문에 그대로 임계상태에 이르기 어렵다. 따라서 우라늄 235의 농축이 필요하다. 결국 우라늄 235의 농축도에 따라 Table 12와 같이 용도가 정해진다고 해도 과언이 아니다.

Table 12 Enrichment by Used System

구 분	발전용	함정용(잠수함)	핵무기용
농축도(%)	0.7~4	20~90	95 이상

2.3.2 원자로

핵 에너지의 평화적인 이용 목적으로서의 대표

Table 13 Nuclear Reactor of American Submarine

구 분	내 용	비 고
S2W	가압수형 열 중성자로	15000 마력 노틸러스호
S2C	가압수형 소형 경량로	2500 마력 Tullibee 급
S3W	S2W에 비해 출력, 중량 절반	6600 마력 Skate 급
S4W	S3W 개량형, 차폐 방식	-
S5W	출력 30% 증가, 연료 교환 용이	15000 마력 Skipjack 급
S6W	SSN-21용으로 개발	60000 마력
S2G	개발후 채용 중지	-
S4G	General Electric 사 개발	-
S5G	냉각수 펌프 폐지 시도	17000 마력 Narwhal 급
S6G, S8G	연료는 환봉, 수명 9~10년	35000 마력 Los Angeles 급 60000 마력 Ohio 급

* W : Westing House

* G : General Electric

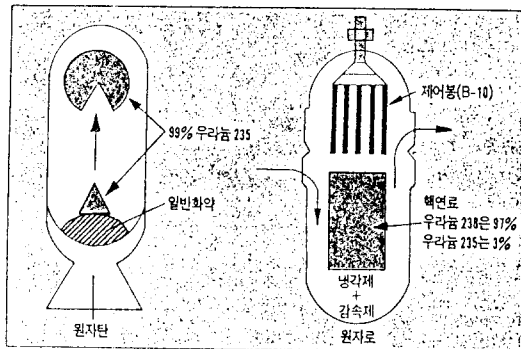


Fig. 19 The Comparison of Reactor and Bomb

적인 원자로는 우라늄 235의 농축도가 낮아 그대로의 임계상태에 도달할 수 없다. 따라서 중성자의 외부 누출을 최대한 억제하면서 핵 분열시 생성된 고속 중성자를 열 중성자로 불리는 아주 느린 중성자로 감속시켜야만 임계상태에 이를 수 있다. 추진용으로 사용되는 것에는 주로 가압수형의 것으로서 이것은 핵 분열 반응으로 생긴 열을 빼내는 냉각재로 물을 사용하는 것이다. 이것을 1차 냉각수라고 하며, 1차 냉각수는 입구에서 약 260℃ 이고, 이것이 가압수형이다. 냉각재에 액체 나트륨을 사용한 것을 중속 중성자로라 한다. 이것은 핵 분열을 일으키게 하는 중성도의 속도를 가진 중성자를 이용한다. 감속재로는 베리륨을 사용한다. 1차계 냉각수의 온도차 약 10℃의 분량에 해당하는 열에너지가 증기발생기에서 2차계의 증

기를 발생시켜 터빈을 구동하는 에너지로 변화한다. 1차계 냉각수는 노심을 통과할 때에 방사성을 띠므로 차폐물로 둘러싸여 있다. 미국 잠수함에 사용되는 원자로의 종류는 Table 13과 같다. Fig. 19는 원자로와 원자폭탄의 비교이다.

2. 3. 3 원자력 주 추진장치

우라늄이나 플루토늄으로부터 얻을 수 있는 분열 에너지는 연료유 연소로부터 얻을 수 있는 에너지와 비교하여 파운드 당 약 백만배 이상을 얻을 수 있기 때문에 에너지 획득면에서 아주 유리하다. 또한 산소를 필요로 하지 않기 때문에 잠수함의 추진원으로는 거의 무한대의 성능을 지닌다고 해도 과언이 아니다. 잠수함용 원자력 주 추진장치는 미국, 영국, 프랑스, 러시아 및 중국에서 2500톤급 미국 Skate로 부터 30000톤급 러시아 Typhoon급 까지 탑재할 수 있는 원자력 주 추진장치들이 개발되어 있다.

최초의 원자력 잠수함인 노틸러스호에서는 우라늄 농축도가 18~20% 정도였으나 그후 40%로 바꾸어졌으며 Seawolf 원자로(S2G)는 90% 농축 우라늄을 사용하고 있다. 농축도가 높으면 높을수록 원자로는 소형화시킬 수 있다. 초기의 노틸러스의 노심 교체에 수개월이 소요되었으나 그 후 설계 변경으로 3~4주 정도로 단축되었다. 대부분 채용하고 있는 가압수형에서는 냉각재 및 감속재로서 경수를 사용하고 있다. 그밖에 나트륨 채용

실험을 수행하였으나 실패하였고, 구 소련의 Alfa 잠수함에서는 액화고속 물질을 채용하고 있는 것으로 알려져 있다.

원자력 주 추진장치의 구동축 전달방식에 있어서 터빈 직접 추진방식과 터보 전기추진 방식으로 대별할 수 있다. 대부분의 원자력 추진은 터빈 직접 추진 방식을 채용하고 있다. 이 방식에서는 추진기 전달 회전수로 감속시키는 감속기가 필수적으로 수반되기 때문에 소음을 일으키는 주요인이 되고 있다. 이러한 문제점을 없애기 위하여 터빈 발전기를 구동하여 전동기로 추진기를 회전시키는 터보 전기추진 방식을 채용하기도 한다. 이 방

식은 미국의 Sturgeon급 중 Glenard P. Lipscomb의 추진기관과 프랑스 원자력 잠수함의 대부분이 이 방식을 채택하고 있다. 원자력 추진장치의 또 하나의 소음원은 1차 냉각수를 순환시키는 펌프가 있다. 이 펌프를 없애고 자연순환식으로 해보고자 Narwhal에서 실험이 행하여 졌으나 완전히 폐지하는데까지는 이르지 않은 것으로 보인다. 로스앤젤러스급은 함의 대형화로 비용 증대를 가져왔고, 정속화와 고속화를 주안으로 하여 주 터빈이나 감속기어 등의 추진장치를 래프트(Raft) 상에 올려 놓고 선체로부터 격리시켜 소음을 차단하는 방식을 채택하고 있다. 그밖에 방사능 차단을 위한 차

Pressurised-water nuclear propulsion system layout

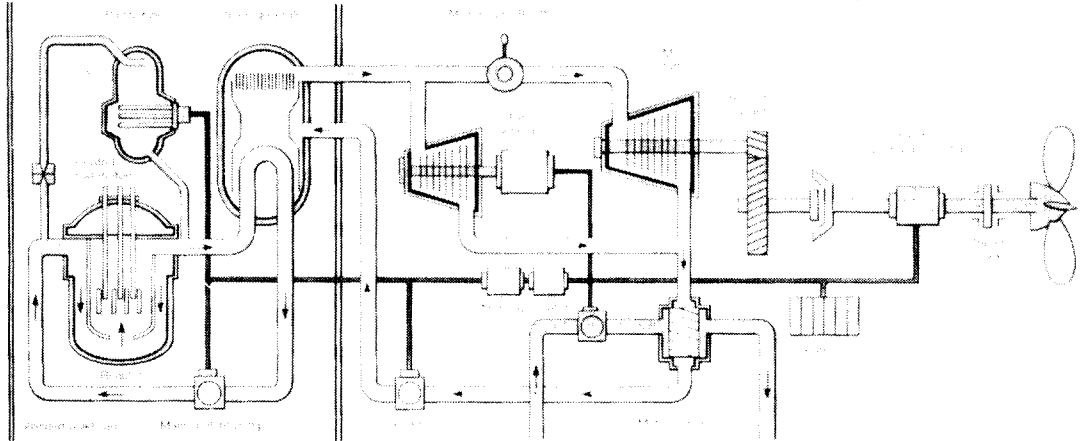


Fig. 20 Turbine Directed Drive Propulsion System

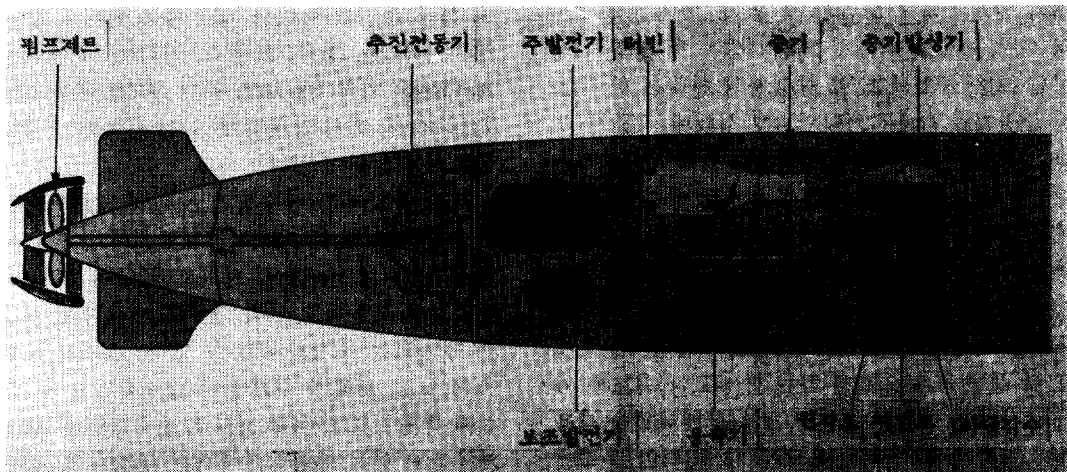


Fig. 21 Turbo - Electric Propulsion System

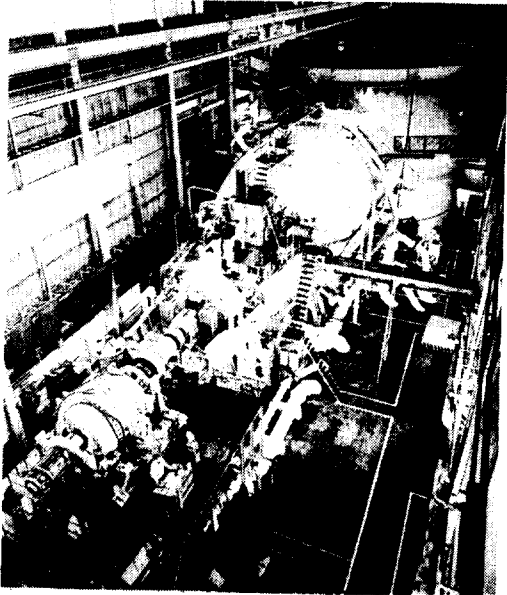


Fig. 22 Propulsion system test of nuclear submarine in England



Fig. 23 Nuclear Reactor of France Nuclear Submarine

폐장치가 필수적으로 요구되고 있다. 원자력 주 추진장치는 계속해서 군 요구성능에 따라 고속화, 정속화, 높은 내구성 및 운용심도의 최대화 등으로 발전될 전망이다. Fig. 20, 21, 22, 23은 각각 터빈 직접추진방식, 터보전기추진방식, 영국 원자력

잠수함 추진장치시험 및 프랑스 원자력 잠수함 원자로를 보여주고 있다.

2.3.4 원자력 보조 추진장치

원자력 추진장치를 주 추진장치로서 뿐만 아니라 보조 추진장치로서 적용하기 위한 연구도 진행되고 있다. 즉 재래식 잠수함과 하이브리드 방식으로 운용되는 형태이다. 하이브리드 운용 개념으로 소형 원자력 추진장치는 캐나다 ECS 그룹에서 적극적으로 개발 중인 것으로 알려져 있다. 여기에서 개발되고 있는 저출력 원자력 장치는 다음과 같은 개발 기준으로 부터 출발하였다.

- 기존 재래식 잠수함과 하이브리드 시키는데 있어서 잠수함 기본 성능에 영향을 미치지 않아야 한다.
- 기존 재래식 잠수함의 소음 및 탐지특성 유지
- 원자로 설계는 안전성, 신뢰성 및 단순화가 보장되어야 한다.
- 운용자 측면에서 재래식 잠수함 기준이 되어야 한다.
- 획득비용이 재래식 잠수함 획득비 20%를 넘지 않아야 한다.
- 연료 교체 및 장착은 원자력 주 추진장치 수준이 되어야 한다.

이러한 전제로 출발된 개발계획은 하이브리드 개념으로 Table 14와 같이 세가지 모델에 대해 연구되었다.

이중에서 400Kw 급 및 1000kW 급 설계특성은 Table 15와 같다.

농축도는 19.7% 정도의 것을 사용하고 있으며 이것은 사고시 자동으로 적절한 연료냉각능력으로 노심출력을 감소시킬 수 있고 안전하게 보상이 가능토록 되어있는 것이 특징이다. 일반적으로 국제안전규정 허용한도가 20% 정도로 규정되어 있기 때문에 연구용 원자로로 널리 이용되고 있는 실정이다.

Table 14 Model for Hybrid System

구 분	100Kw 급	400Kw 급	1000Kw 급
적용 잠수함 톤수	1000톤급	2000톤급	2000 톤급 이상
적용 가능 잠수함	209, A17	TR 1700, Type 2400, Type 471	

Table 15 The Characteristic of 400kW and 1000kW

내 용	400Kw	1000Kw	
최소 적용 선체직경(m)	7.3	7.3	
전체 길이(m)	8.5	10	
원자로 열출력(Mw)	3.5	10.8	
순수 출력(Kw)	330 - 530	1460	
연 료 U - Zr H1.6	U - Zr H1.6		
연료봉 수량	480	1275	
연료 교체 주기	8 - 10	8 - 10	
작동 압력(Bar)	17	36	
냉각수 출구온도(℃)	166	207	
노심 출력 밀도(W/cc)	45	49	
해수온도(℃)	적정	20	9
	범위	0 - 30	0 - 30

Table 16 The Comparison of Building Cost

내 용	개략 비용 (1988, 백만불)	재래식 잠수함에 대한 비율
2000톤급 재래식 잠수함	210	1.0
1000Kw 하이브리드 잠수함	253	1.2
미국 로스앤젤러스	700	3.3
영국 트라팔가	440	2.1
프랑스 아메테스테	370	1.8

보통의 발전소에서는 터빈 구동용 증기회로가 개방되어 있는 것과 대조적으로 완전한 2개의 병행 폐회로로 설계되어 있고, 각각 순환식의 증기 발생기, 터빈 발전기, 복수기, 응축기, 보일러 급수장치로서 구성되어 Rankine 사이클 발전계가 병렬 운전되고 있는 것이다.

개발 비용과 관련하여 다른 원자력 잠수함과 비교하면 Table 16과 같다.

개발프로그램은 1988년 7월에 잠수함 경사각 90°에서 정상 및 비상 조건하에서 예상되는 정상상태의 원자로 열 수력학적 현상의 실물 크기시험이 완료되어 열 출력 3MW 까지 성공적으로 수행되었다. 그후 1989년 상반기까지 반응제어손실, 열부하손실, 1차회로손실을 포함한 과도상태에서의 원자로 열 수력학적 성능시험이 완료되었다. 곧

Table 17 The Weight Distribution for 1000kW Hybrid System

내 용	톤수
원자로 부분	80
에너지 변환 장치	49
1차측 차폐	43
전기 제어 장치 의 장	7
	10
원자로 장치 부분	189
선체(길이 12m, 직경 7.5m)	102
부 자재	26
지지 구조물	50
2차측 차폐	130
시스템 수정	10
공기 재생	7
연결 부분	325
전 체	514



Fig. 24 Hybrid Nuclear Propulsion System

이어 전기 출력 160kW 실물 크기 시제장치가 만들어져 500시간 운전, 작동 경사 30° 조건에서 1989년 후반기에 시운전이 시작되어 1990년 말까지 진행된다. 1단계 연구가 마무리되고 나면 2단계 연구를 계속하여 1994년 까지 합정용으로 400kW급 원자력 보조 추진장치 및 1996~1997년 까지는 1000kW급 장치를 개발할 계획을 가지고 있다. 또한 하이브리드 정보교환을 위해 ECS는 네덜란드 RDM사와 1989년 2월 공동팀을 구성하였다. Table 17 및 Fig. 24는 각각 1000kW 하이브리드 장치 중량 및 하이브리드 원자력 추진장치를 보여주고 있다.

3. 결 론

대양형 잠수함에는 무한대의 에너지원인 핵 에

너지를 이용한 원자력 추진체계가 적합할 것으로 생각된다. 이러한 원자력 추진장치는 지금 현재로는 이에 수반되는 여러가지 제약때문에 미국을 비롯한 몇몇 국가에서만 기술을 보유하고 있는 실정이다. 그 기술의 특성 및 개발비용 측면에서 볼 때 상당히 제한적임은 어쩔 수 없는 것 같다. 그러나 평화적인 이용측면으로는 많은 것들이 투명화, 국제화와 개방화가 되어야 된다고 생각된다.

참고문헌

- 1) Naval Forces No. V. /1989, vol. X
- 2) Jane's Fighting Ship
- 3) Maritime Defense, Sept. 1991
- 4) Maritime Defense, May 1993
- 5) Maritime Defense, December 1992.
- 6) Warship Technology, July/august 1991
- 7) 과학동아, 1991.11
- 8) Submarine Design and Development
- 9) Modern Submarine Warfare