

어뢰 추진체계 기술현황

The State of the Art on Propulsion System for Torpedo

공 영 경

Y. K. Kong



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

1. 개 요

거의 모든 무기체계에서의 추진이 차지하는 비중은 다른 어떤 분야보다도 기본적이고 중요하다고 판단된다. 특히 어뢰의 경우는 추진 분야가 차지하는 비중은 전기추진식의 경우 공간적, 중량적인 측면에서 거의 50% 이상을 차지하고 있는 것을 볼 때 그 중요성은 더욱더 크다고 할 수 있다. 이러한 점들을 고려하여 여기에서는 어뢰 추진체계로서 현재 사용되고 있는 추진체계를 중심으로 전 세계적으로 연구, 운용되고 있는 추진체계에 대해 알아보려고 한다.

2. 최근의 어뢰 추진 경향

어뢰의 발사체계로 구분해 볼 때 수상함, 헬기, 항공기 중심의 경어뢰와 잠수함 중심의 중어뢰로 크게 구분될 수 있다. 공격대상으로는 초기의 수상함에서 점차적으로 잠수함 중심으로 이루어져 가는 경향이다. 이러한 대잠 무기측면에서 볼 때 최근까지 구소련을 대상으로 발전시켜 온 미,영의 경

우 구소련 원잠 공격목표에 초점을 맞추어 왔다.

최근의 구소련 원잠 발전은 함의 대형화, 속력의 고속화, 잠항심도의 증대 및 내압몸체 구조 등으로 요약될 수 있다. 이와 같은 발전 추세에 따라 어뢰 속력은 목표함 속력 40노트보다 1.5배 높은 60노트 이상, 운용심도는 목표함보다 200미터 이상 큰 1200미터 이상, 항주거리는 경어뢰 20km, 중어뢰 40km 이상을 가지는 어뢰 개발을 목표로 삼고 있다. 이러한 어뢰성능을 만족시켜 주기 위해서는 무엇보다도 추진성능이 우선되어야 한다. 즉 추진체계의 고성능화가 이루어지지 않고서는 원하고자 하는 성능을 얻기가 힘들다. Table 1은 각종 어뢰의 최대속력 및 항주거리 현황을 보이고 있다.

3. 추진체계 종류 및 발전추세

어뢰의 추진체계는 Table 2와 같이 열에너지 추진, 전기에너지 추진 및 전자에너지 추진 등으로 구분할 수 있다.

위 Table 2에서 나타난 체계들 중 현재 운용되고 있는 체계는 열에너지와 전기에너지를 이용한 추

Table 1 The State of Maximum Speed and Range

추진원	속도범위	항주거리	중어뢰	경어뢰	비고
연축전지(Pb/PbO ₂)	10~30 노트	-	G7E(독)	-	1940~1950년대 사용
니켈 카드뮴 전지(Ni/Cd)		-	L3, E-12(프)	-	
아연 산화은 전지 (Zn/AgO)	30~40노트	15~30Km	SUT(독) MK37(미) A184(이) F17(프) Tigerfish(영)	-	1960년대 이후
마그네슘 염화은전지 (Mg/AgCl)	30~45노트	5~8Km	-	MK46(미) A244(이) Sting Ray(영)	1960년대 이후
열기관	40~60노트	40Km	MK48(미) Spearfish(영) TP61(스웨덴)	-	1970년대 이후
	40~50노트 이상	10Km	-	MK46(미) MK50(미)	
알루미늄 산화은전지 (Al/AgO)	50노트 이상	10Km	-	Murene(프) A290(이) Eurotorp(프, 이)	1990년대 이후
리튬 염화디오닐전지 (Li/SoCl ₂) 및 열기관	60노트 이상	10Km이상 (경어뢰)	차기 세대 어뢰		2000년대 이후
		40Km이상 (중어뢰)			

Table 2 The Various Torpedo Propulsion System

분야	구분	종류
열에너지	개방회로	오토(Otto) 연료 추진 피스톤 엔진 추진 가스 터빈 추진
	반 폐회로	H ₂ O ₂ 로켓 추진 산소 추진 디젤 추진
	폐회로	보일러 추진 증기 터빈 추진
전기 에너지	1차 전지	아연 산화은 전지 추진 알루미늄 산화은 전지 추진 마그네슘 염화은 전지 추진 리튬 염화 디오닐 전지 추진
	2차 전지	아연 산화은 전지 추진
전자 에너지	전자 유체	전자 유체(MHD) 압축기 추진
핵 에너지	원자력	이중 랭킨(Rankine) 사이클 추진 브레이튼(Brayton) 사이클 추진 로펠러(Loeffler) 사이클 추진

Table 3 Energy Density and Life Cycle for Main Power sources

종류	이론중량 에너지밀도	수명	운용어뢰
아연 산화은 전지	540wh/kg	5년	SUT(독) MK37(미) F17(프) A184(이)
마그네슘 염화은 전지	450wh/kg	5년	MK44(미) A244(이) Sting Ray(영)
알루미늄 산화은 전지	1000 wh/kg	10년	Murene(프) A290(이)
열기관	1500 wh/kg 이상	20년 이상	MK48(미) MK50(미) Spearfish(영)

진 체계가 대부분이다. 이러한 추진체계는 전기식의 경우에는 Table 3에 보는바와 같이 추진원의 수명 보장 문제도 비용측면에서 중요하게 대두된다.

Table 4 The Comparison of Energy Density for Battery and Motor

종 류	중량 에너지 밀도 (wh/kg)		체적 에너지 밀도 (wh/dm ³)		비 고
	이 론	실 제	이 론	실 제	
아연 산화은 전지	540	55	200	55	중어뢰
알루미늄 산화은 전지	1000	130	400	260	경어뢰
직류 전동기	4	1.5~2			중어뢰 및 경어뢰
교류 전동기	4	3			경어뢰

에너지원 자체를 포함한 전체 추진체계의 발전 경향은 여러 가지 상반되는 요구조건을 만족시키지 않으면 안된다. 목표물을 공격할 수 있는 충분한 기동력, 자체 소음발생의 최소화로 공격능력 극대화, 충분한 항주거리, 연소생성물에 의한 항적을 남기지 않을 것 및 심도와 무관한 추진능력 등이 요구되고 있다. 이러한 여러 가지 상반되는 요구조건 만족을 위해서는 여러분야에서 성능 개선이 이루어져야 되지만 모든 요구조건을 동시에 만족시킨다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 그 중에서 가장 공통적, 집약적으로 표시되는 것이 고에너지 밀도를 가진 고성능 추진체계 달성이라 말할 수 있다. 이런 점을 고려해 볼 때 에너지원 자체나 구동원 자체만의 에너지 밀도가 우수하다고 해도 고성능 추진체계 달성에는 어려움이 있고 그 자체를 포함한 추진체계 전체가 고에너지 밀도화가 이루어질 때 비로소 적용체계로서의 역할을 다할 수 있을 것이다. Table 4에 나타난 바와 같이 현재 적용된 실제 에너지 밀도는 이런 점에서 중요하다고 볼 수 있다.

4. 전기 추진체계

현재 전세계적으로 운용되고 있는 어뢰의 대부분이 전기 추진체계이다. 이러한 전기 추진체계의 발달은 동력원인 전지의 발달과 함께 이루어졌다고 해도 과언이 아니다. 1930년대에 비축형 아연 산화은 전지와 해수전지가 개발된 이래로 최근에는 각종 열기관들이 개발되어 사용되어지고 있으나 여전히 전지를 이용한 추진기술이 계속해서 사용되고 있다. 초기의 전지는 연축전지를 사용하였으나 에너지손실이 많고 에너지밀도가 200Wh/kg 이하 수준이어서 고성능 추진원으로서 적합하

지가 않다. 1960년대에 들어서 보다 더 빠르고 보다 더 긴 항주거리 요구에 따라 아연 산화은 알칼리 전지 개발이 이루어져 지금까지도 중어뢰의 대표적인 동력원으로서 자리잡고 있다. 에너지 밀도 면에서 연축전지에 비해 두 배 이상의 성능을 가지고 있다. 그러나 이 전지는 아연극 특성 때문에 수명이 5년 정도 밖에 되지 않아 사용 어뢰 수명까지 사용을 할 수 없는 것이 단점이다. 전해액은 비축형으로서 발사와 동시에 전해액을 전지에 주입시킨다. 주입시키는 방법은 크게 두 가지 방식을 사용하고 있는데 압축공기 이용 방식과 추진제 이용 가스발생방식이 있다. 전자는 주로 유럽, 후자는 미국에서 사용되고 있다. 경어뢰용으로 개발된 마그네슘 염화은(Mg/AgCl) 해수전지 및 알루미늄 산화은(Al/AgO) 해수전지가 있다.

초기의 Mg/AgCl 전지 단점은 부하시 전압이 떨어져 균일속도 유지가 곤란하다는 것과 해수의 염도와 온도에 따른 특성변화가 일어난다는 것이다. 이러한 단점들은 전해액 재순환 방식을 채택함으로써 부분적으로 해결이 되었다. 그러나 최근에 와서 보다 더 강력한 전원 요구에 따라 Mg/AgCl의 에너지 밀도보다 두 배 큰 Al/AgO 전지를 개발하여 실용시험 중에 있다.

Fig. 1, 2, 3, 4는 각각 마그네슘 염화은 전지 및 알루미늄 산화은 전지, 마그네슘 염화은 전지 작동원리, 알루미늄 산화은 전지 작동원리 및 리튬 디옥사이드 염화은 전지를 보여주고 있다.

Al/AgO 전지의 경우 보관 수명도 기존전지 보다 두 배정도 향상되었다. 이 전지의 특징은 Mg/AgCl 전지와는 달리 일정량의 고형 알칼리를 전해액 탱크에 보관하고 있다가 해수 유입시 해수에 녹아 적정 수준의 전해액을 구성, 사용하는 것이 다른 점이다. 그러나 알루미늄 전지는 부수적

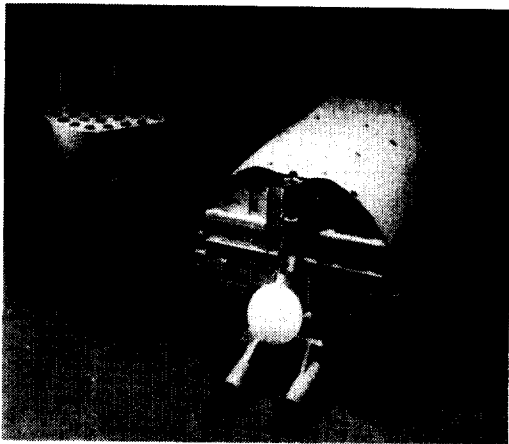


Fig. 1 Mg/AgCl and Al/AgO Battery

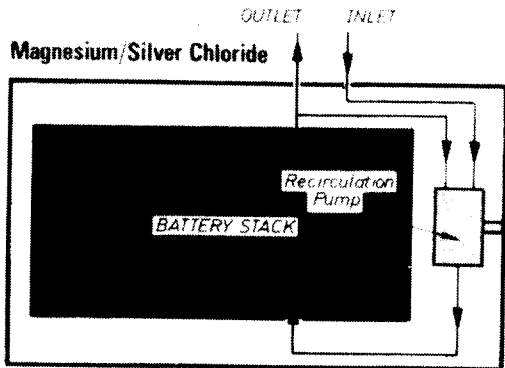


Fig. 2 The Operational Principle of Mg/AgCl Battery

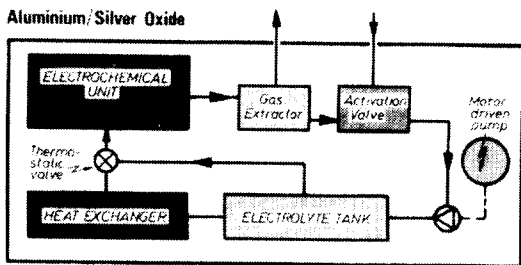


Fig. 3 The Operational Principle of Al/AgO Battery

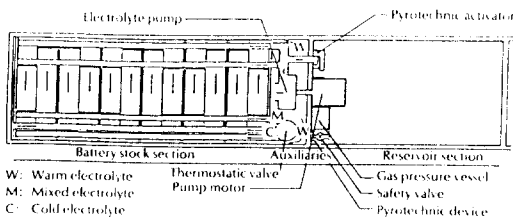


Fig. 4 Li/SOCl₂ Battery

으로 전해액 탱크, 가스분리기, 온도조절밸브 및 열 교환기 등이 필요하기 때문에 전지부 전체로서의 중량 분포는 유사하나 체적 분포는 그다지 우수하지 못하다. 이점이 현재 알루미늄 전지의 단점으로 지적되고 있다. 알루미늄 전지는 당분간 계속해서 경어뢰용으로 사용될 전망이나 열 추진기관과 경쟁할 수 있는 전지로서는 에너지 밀도면에서 볼 때 기술적 한계를 가지고 있다. 이러한 기술적 한계 극복을 위해서는 새로운 전지 개발이 필수적으로 요구된다. 이런 요구에 부합되는 전지로서 리튬염화 디오닐 전지를 중, 경어뢰용으로 개발 중에 있다. 리튬전지는 에너지 밀도면에서 열 추진기관과 거의 대등한 수준을 가지고 있어 앞으로 충분히 경쟁 가능한 좋은 특성을 지니고 있다.

현재 50kW급까지 제작되어 시험된 실적을 가지고 있어 2000년대에 가서는 실용화가 예상되고 열 추진기관과 더불어 계속적으로 사용될 전망이다. 그 밖에 구동원인 전동기는 직류전동기 중심으로 단일방향 및 반전방향 전동기로 크게 두 가지로 나누어져 개발되어 왔다. 중어뢰용은 반전전동기 형태로 경어뢰용은 고속 단일전동기 형태로 주로 사용되고 있는 경향으로서 발전 추세는 고에너지 밀도화되는 것이다. 초기의 1kW/kg 급에서 지금 현재는 3kW/kg급까지 발전되어 있는 상태이며 앞으로 4kW/kg 급의 전동기까지 향상될 것으로 예견되고 있다. Fig. 5는 Lucas 반전전동기이다.

전체적으로 직류전동기의 최대 단점인 정류 문제와 소형 경량화 문제가 있기 때문에 이 문제 극복을 위해 교류전동기 개발로 변환되는 추세에 있다.



Fig. 5 Lucas CRM

5. 열 추진체계

현재의 전기추진체계의 이론적 에너지밀도한계 때문에 50노트 이상의 고속성을 내기 위해서는 열 추진체계가 대부분 사용되고 있는 실정이다. 열 추진체계는 배기가스처리문제, 심도에 따른 출력저하 및 소음문제 등의 단점을 가지고 있다. 이런 단점을 극복하기 위한 방편으로 폐회로 열 추진체계 개발이 진행되고 있다. 주로 적용되고 있는 경어뢰는 공간상의 제약으로 열 추진체계를 채택하고 있다. 1960년대에 화약계통의 고체추진체를 이용한 엔진을 제작하였으나 원하는 호밍성능

이 얻어지지 않아 실패하였다. 그 후 오토(Otto)엔진이라고 하는 액상연료를 이용한 5기통 왕복엔진 제작에 성공하였다.

오토연료는 특히화합물의 명칭으로서 자신이 산소를 보유하고 있고 에너지 효율이 높고, 안전하고 취급이 용이한 장점을 가지고 있다. 초기 장약(Pyrotechnic Charge)에 의해 점화된 후부터는 연소는 계속해서 유지된다. 연소에 의해 생성된 고온가스는 연소실에 분사되는 해수로써 냉각됨과 동시에 그것에 의해 생긴 과열 증기와 가스가 혼합되어 엔진을 구동한다. 연료의 저장, 공급이 간단하고 펌프나 압력용기가 필요하지 않는 점이 장점이다. Fig. 6은 열추진 체계이다. Fig. 7은 스웨덴 엔진추진체계와 전기추진 어뢰를 보여주고 있다.

미 해군에서는 효율이 좋은 엔진 채택을 위해 터빈식과 회전경사판(Swashplate)식의 비교 조사를 실시한 결과 회전 경사판식 엔진의 효율이 터빈식에 비해 우수하고 배압특성이 우수한 반면 소음특성이 떨어지는 것으로 판명이 되었다. 검토결과 최종적으로 회전경사판식 엔진을 선정하여 MK-48 어뢰 엔진에 탑재하였다.

영국의 경우 미국이 개발한 MK48어뢰 엔진이 저속에서 소음특성이 좋지 않으므로 자국에서 새로운 형태를 개발하기로 하였다. 연료문제 해결을

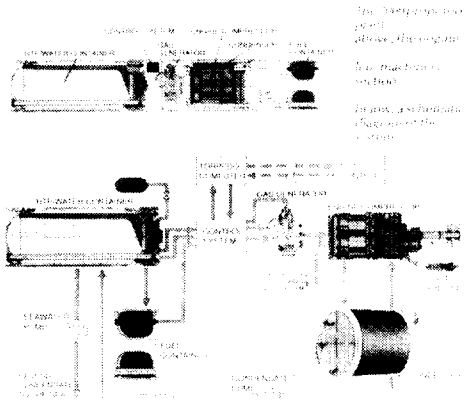


Fig. 6 Thermal Propulsion System

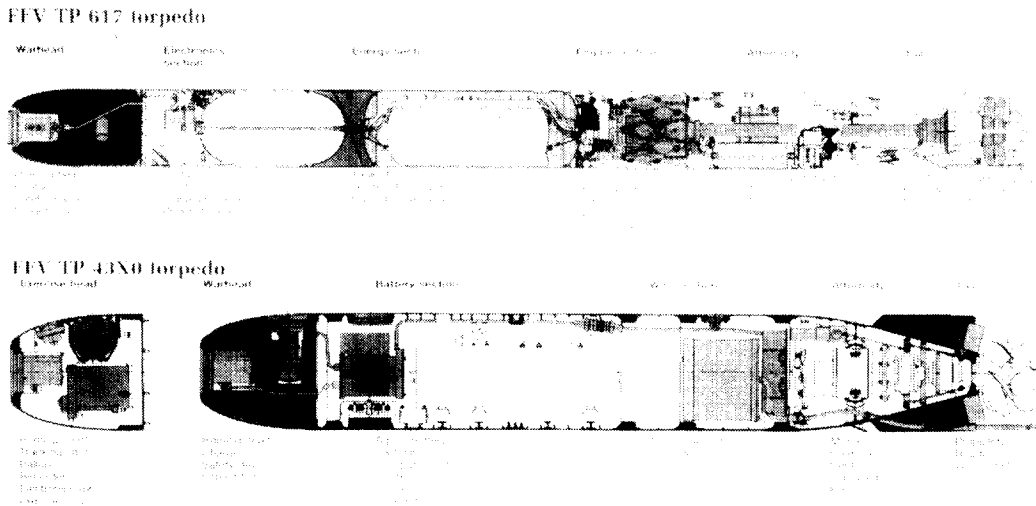


Fig. 7 Engine Propulsion and Electric Propulsion Torpedo in Sweden

위해 오토연료에 산화제인 수산화민 과염소산염(HAP, Hydroxylamine Per-Chloate)을 혼합하여 열효율을 40%까지 높이는 방법이 채용되었다. 이 방법에서 어려운 것은 HAP를 혼합하기 전까지는 오토연료와 접촉되어서는 안되는 점과 HAP와 오토연료 사용량을 폭넓게 변화시켜 연소실로 공급하는 연료펌프설계였다. 이렇게 해서 개발된 어뢰가 Spearfish이다. 한편 열기관(Thermal engine)을 채용한 열 추진체계에서 최대단점은 외부로 배기가스를 배출시켜야 되는 문제이다. 이러한 단점 보완을 위해 미국에서는 Garrett 폐회로 엔진시스템(CCES, Closed Cycle Engine)을 개발하기에 이르렀다.

CCES의 잇점은 심도에 무관하게 출력이 일정하다는 것이다. 이것은 종래의 방식에서는 배압에 의해 효율이 나빠지고 출력저하가 발생하는 큰 결점을 지니고 있는 것을 개선한 것이다. CCES의 원리자체는 간단하나 실제 어뢰에 적용시키는 것은 간단하지가 않은 문제이다. 그 작동 원리는 우선 금속 리튬을 보일러 내의 발연통(Pyrotechnics)에 용융시켜 두고 보일러 내·외부는 물과 증기의 통로로 되는 코일 형태의 스테인레스 강관으로 되어 있다. Fig. 8, 9는 각각 FFV 2000 중어뢰 탑재 모습 및 폐회로 엔진시스템이다.

용융리튬에 가스상의 육불화유황(gaseous sulphur hexafluoride)을 주입하면 그것에 의해 격렬한 반응이 일어나 반응열이 생긴다. 이 반응이 적절히 제어되어 보일러 내의 높은 열이 코일내의 물을 증기로 변환되도록 가열한다. 이때 발생된 고온의 수증기가 고속터빈을 구동시키게 된다. 이 증기

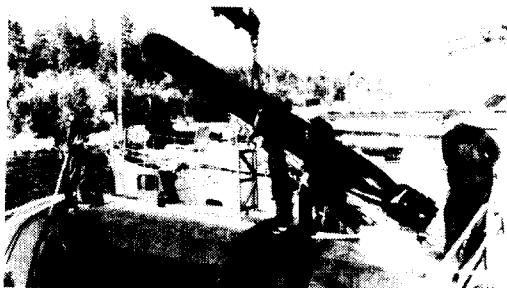


Fig. 8 The Loading Spectacle of FFV2000 Heavy Weight Torpedo

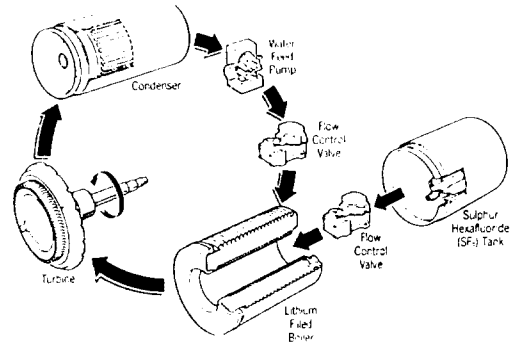


Fig. 9 Closed Cycle Engine System

는 몸체에 부착되어 있는 응축기를 거쳐 냉각되어 다시 보일러로 재순환 된다. 연소생성물은 연소된 상태보다 용적이 적기 때문에 배출시킬 필요가 없게 된다. CCES가 채택된 MK50 Barracude 신형 경어뢰 개발완료시에는 대체하고자 한 어뢰 MK 46보다 100kg의 중량이 무거워지고, 길이가 조금 늘어나게 되었다. 개발과정에서 여러 가지 문제점들인 가변속도가 필요한 점, 잉여의 보일러 열 때문에 급가감속(Quick Acceleration or Deceleration)이 어려운점, 입수(Water Entry)시 급속발동(Quick Start-Up)문제, 공수시 내부 물의 동결방지를 위해 가열의 필요성, 제한된 공간내에 연료계통과 증기계통의 배관과 펌프를 설치하는 어려움 등이 제기되었다. MK50어뢰의 주 계약사는 Honeywell사였으며 CCES는 Phoenix, Arizona의 Garrett Pneumatic Systems Div.에서 맡아 개발하였다. 또한 MK48에 CCES를 적용하여 성능 향상을 위한 계획을 1990년대 중반 완성을 목표로 정해 추진중에 있는 것으로 알려져 있다.

현재 전 세계적으로 주로 운용되고 있는 추진체계는 전기추진과 열 추진체계임은 두말할 나위가 없다. 구소련의 Type65어뢰의 경우 폐회로 추진이나 MHD 추진일 가능성이 있다는 추측도 하고 있다. 그 밖에 실제 적용되고 있지는 않으나 추진체계로서 원자력 추진체계를 생각할 수 있다. MHD 추진 방식에는 여러 가지가 있으나 어뢰 적용 측면에서 볼 때 MHD압축기 방식을 생각할 수 있다. 그 구조는 정현교류가 인가되는 원형실린더 주위에 코일로 구성되어 있다. 코일 근처에는 축 방향으로 움직이도록 된 전도성 유체의 환형으로 된 것

이 있다. 코일에서 발생된 자장과 코일자체에 흐르는 전류와의 상호작용으로 원주방향 및 축 방향 성분의 로렌쯔력이 발생된다.

여기에서 축방향힘은 제로이고 원주방향힘은 정현파 형태로 변화한다. 이것이 장의 연동운동과 유사한 방법으로 도전성 유체를 파도와 같은 형태로 움직여 추력을 발생시키게 되는 것이다. 이 추진체계의 장점은 소음이 거의 없고 수심과 무관하게 출력을 낼 수 있다는 것이다.

어뢰에 원자력 추진체계 적용시의 잇점은 긴 항주거리를 가질 수 있는 것이다. 고려될 수 있는 방식은 브레이튼(Brayton), 랭킨(Rankine) 및 뢰플러(Loeffler) 방식을 생각 할 수 있다. 여기에 대한 구체적 내용은 생략하기로 한다.

6. 결 론

전체적으로 어뢰에 사용되는 추진체계에 대해 정리하였다. 앞으로 전기추진과 열 추진체계가 실

전용 어뢰에 계속해서 사용될 것으로 예상되나 그 밖의 추진체계도 관심을 불러 일으킬 수 있을 것으로 전망된다. 각각의 추진체계마다 장·단점을 가지고 있기 때문에 그 선택은 자국에 가장 적합한 시스템이 선정될 것이다. 크게 보아서 열 추진 체계는 미국을 중심으로, 전기추진 체계는 유럽을 중심으로 하여 기술이 발전될 것이다. 한 나라의 기술발전이 이루어지고 구축되기 위해서는 관련 기관에서의 지속적인 관심과 지원이 전제로 되고 수행기관에서는 합리적, 효율적, 포괄적 사고위에 전문가가 중심이 된 수행이 되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) Maritime Defense, 1992 June
- 2) Maritime Defense, 1990 April
- 3) Leonard Greiner, Underwater Missile Propulsion, Compass Publications, Inc., 1967.