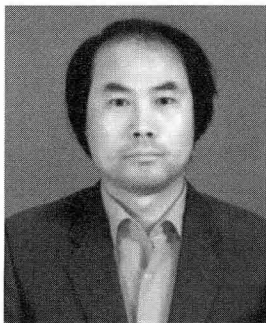


## 어뢰용 전지 현황 및 발전추세



孔 泳 卿    國科研 선임연구원

**어뢰**에서 추진시스템 선정은 전체 어뢰 성능과 밀접하게 관련되어 있으며, 전기 추진시스템의 경우는 열기관 추진시스템과 비교해 정속운전, 심도와 무관한 성능유지 등의 잇점으로 각 국에서 널리 채택되고 있는 추진시스템입니다.

이러한 전기 추진시스템의 추진원인 전지는 초기의 연축전지로부터 오늘날의 리튬전지에 이르기까지 에너지 밀도면에서 상당한 향상을 이룩하였으며 앞으로도 성능 향상이 계속될 전망입니다. 이 글에서는 각 전지 종류별 특성 및 각국 개발 현황에 대해 살펴보고자 합니다.

일반적으로 전기 추진시스템은 열기관 추진시스템과 비교해 정속 운전, 심도에 무관한 성능유지의 장점이 있으나, 에너지 밀도면에서는 지금까지 뒤떨어져 온 것이 사실이었습니다.

그러나 최근에 이르러서는 리튬과 알루미늄 음극을 이용한 새로운 전지 연구 개발과 고성능 영구자석형 동기전동기 연구 개발로써, 열기관 추진시스템에 필적할수 있는 성능을 갖추게 되었습니다.

### 어뢰용 전지의 일반적 요구 사항

어뢰를 빨리 목표물에 명중시키기 위해서 전지는 고율(5~20 분율)로 동작되어야만 합니다.

이것은 전극이 높은 전류밀도에서 반응이 이루어져야 되는 관계로 상당한 열을 발생하게 되고, 이에 따라 전지 설계는 열과 온도상승을 고려해야 합니다. 무엇보다도 에너지밀도가 높아야 전지의 무게와 체적이 최소화 될수 있습니다.

그 밖에 주요 요구사항들은 다음과 같습니다.

- 신속한 활성화
- 고출력 밀도
- 고에너지 밀도
- 긴 수명
- 안전성
- 내충격 및 진동

전 지 구 분	출 력	속도/항주거리	어 려	국 가
연 축 전 지	170Kw	27노트/8Km	G7E	독 일
니켈 카드뮴 전지	-	-	L3, E-12	프 랑 스
아연 산화은 전지	36Kw	35노트/10Km	Mk37	미 국
	100/120Kw	35~40노트/ 15~30km	F17 A184 SUT Tigerfish	프 랑 스 이탈리아 독 일 영 국
마그네슘 염화은 전지	24Kw	30노트/5.5km	Mk44	미 국
	30Kw	30노트/6km	A244	이탈리아
	63Kw	45노트/8km	Sting Ray	영 국
알루미늄 산화은 전지	100Kw	55노트/10km	Murenc	프 랑 스
	100Kw	50노트/10km	A290	이탈리아
리튬 염화디오닐 전지	300~600Kw	60노트 이상	차기 어뢰	-

각종 어뢰의 전지 형태

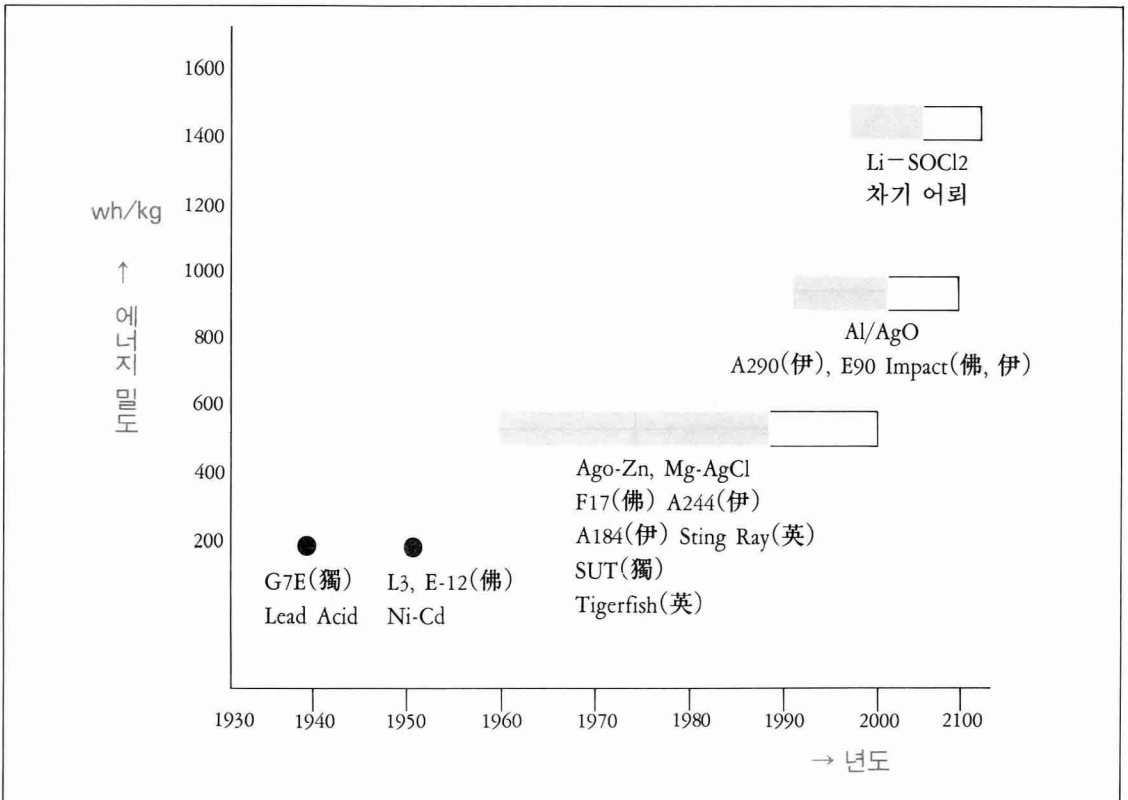
전지의 高 에너지 밀도화

1930년대에 최초의 전기추진식 어뢰인 독일 F7에 사용된 연축전지는 170Kw의 출력으로써 27 노트, 8,000m 성능을 발휘하였습니다. 이때의

방식은 비축형이 아니어서 저장동안의 자기방전에 의한 손실이 크고, 다량의 수소 가스 발생에 의한 안전성 문제가 있었습니다.

제2차 세계대전을 전후해서 프랑스에서는 연축전지보다는 에너지 밀도가 높은 니켈카드

단계별 발전 추세



늄 전지를 사용하기도 했으나 지금은 거의 사용되지 않고 있습니다.

1950년대에 이르러서는 비축형 연축전지가 개발되어 저장동안에서의 자기방전에 의한 손실은 막을수 있었습니다.

1960년대에는 보다 더 빠른 어뢰의 요구에 따라, 연축전지의 에너지 밀도에는 한계가 있어 새로운 전지 개발이 요구되었습니다.

이러한 요구조건에 따라 오늘날 가장 널리 사용되고 있는 아연 산화은 전지, 마그네슘 염화은 전지가 개발되어 지금까지 성능 향상을 이룩해 오면서 사용되고 있습니다.

최근에는 기존의 아연 산화은 전지 및 마그네슘 염화은 전지보다 이론적 에너지 밀도가 두배이상 높은 알루미늄 산화은 전지 및 리튬 염화디오닐 전지 개발이 활발히 연구되고 있습니다.

이중 알루미늄 산화은 전지는 실용시험까지 완료된 상태이며 리튬 염화디오닐 전지는 탐색개발 중에 있습니다.

이러한 발전 추세에 따라 국과연에서 아연 산화은 전지 개발은 상당한 수준에 도달해 있으며, 새로운 전지인 알루미늄 산화은 전지 개

발은 진행 중에 있으며, 리튬 염화디오닐 전지는 개발 계획을 수립해 놓고 있습니다.

주요 전지의 개발 현황

• 아연 산화은 전지

1960년대에 개발된 이래 30년 이상, 지금까지 가장 널리 중어뢰용 추진전지로 사용되어오고 있습니다.

미국 Mk37, 영국 Tigerfish, 독일 SUT, DM2A3, 프랑스 F17, 이탈리아 A184, 스웨덴 T41에 적용되었습니다. 아연 산화은 전지는 훈련용과 실전용의 두가지 형태로 나누어집니다.

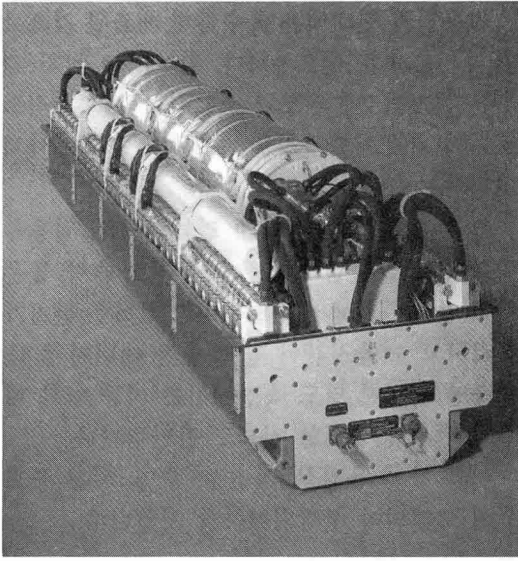
훈련용일 경우는 6~15 사이클을 반복해서 사용할수 있도록 초기 사용시 전해액을 수동으로 전지에 주입해 사용하는 것입니다.

실전용일 경우는 전해액을 별도로 전해액통에 비축해 두었다가 발사와 동시에 발동기구에 의해 자동으로 전해액이 주입되어 전지가 활성화 작동되므로 비축형 전지라고 합니다. 발동기구 방식은 크게 Mk37의 화약식, SUT와 같은 압축가스 방식이 있습니다.

중어뢰용 실전용 전지의 경우 전 세계적으로

종류별 이론적 에너지 밀도

구 분	중량당 밀도 (Wh/kg)	체적당 밀도 (Wh/dm <sup>3</sup> )	수 명(년)	비 고
연축전지 (Pb PbO <sub>2</sub> )	170	100	5	G7E(독일)
니켈 카드뮴 (Ni Cd)	240	60	5	L3, E12(프랑스)
아연 산화은 (Zn AgO)	460	200	5~6	SUT(독일), A184(이탈리아) F17(프랑스), Tigerfish(영국)
마그네슘 염화은 (Mg AgCl)	440	300	5~6	Mk44(이탈리아) A244(이탈리아) Sting Ray(영국)
알루미늄 산화은 (Al AgO)	1090	400	10~12	Murenc(프랑스) A290(이탈리아) E90 Impact(프랑스, 이탈리아)
리튬 염화디오닐 (Li SOCl <sub>2</sub> )	1470	600	10	차기 어뢰
열 기관 (Thermal Engine)	1400	400	20	Mk48(미국) Spearfish(영국) Mk46(미국)



실전용 아연 산화은 전지부

거의 전류 용량은 450~500A, 전압은 210~220 V, 지속시간은 10~15분의 성능을 가지는 것이 일반적이며, 이때 전지 무게는 400~500kg, 길이는 1.5~1.8m 내외가 대부분입니다.

• 마그네슘 염화은 전지

마그네슘 염화은 전지는 경어뢰용으로 사용되는 것으로써 전해액은 해수를 사용합니다. 따라서 운송 및 장착동안에는 전해액 무게가 빠져 있고, 활성화될 염려가 없어 안전합니다.

초기의 전해액 순환은 자연 순환식이 채택되었으나, 그후 강제 순환식으로 전환, 전지의 성능을 향상시켰습니다.

단점으로는 해수의 온도와 농도에 따라 성능이 변하는 것입니다. 세계적으로 이 전지를 사용하고 있는 어뢰로는 미국의 Mk44, 이탈리아의 A244, 영국의 Sting Ray가 대표적입니다.

최근에 이르러서는 영국에서 마그네슘 전극에 탈륨, 알루미늄을 첨가한 전극을 만듦으로써, 수소발생 억제와 반응시 나오는 찌꺼기를 적게해 성능을 향상시켰습니다.

• 알루미늄 산화은 전지

기존의 아연 산화은 전지나, 마그네슘 염화은 전지보다 에너지 밀도가 2배 이상 높은 알루미늄 산화은 전지 개발은, 초기에는 미국 NUSC, Newport(RI)에서 수행했습니다.

이를 받아 McDonnell Douglas - GE - Raytheon team이 Yardney 후원 아래 연구를 계속해 왔으나 ALWT program이 열기관으로 확정됨에 따라 이에대한 연구가 다소 주춤한 상태입니다.

프랑스에서는 1977년부터 알루미늄 산화은 전지에 대한 연구를 시작해 프랑스 Murene, 이탈리아 A290 어뢰에 적용, 실용시험까지 완료하였습니다.

계획 중인 E90 Impact 어뢰에 이 전지를 탑재할 예정입니다. 알루미늄 산화은 전지는 직접 반응하는 전기 화학 부분 이외에 전해액 탱크, 가스 분리기, 온도 조절 밸브, 열 교환기, 전해액 순환 펌프, 모터, 열전지 등으로 구성되는 시스템입니다.

앞으로도 알루미늄 산화은 전지 채택은 늘 어날 전망입니다.

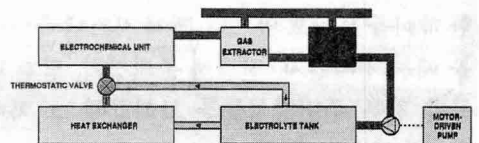
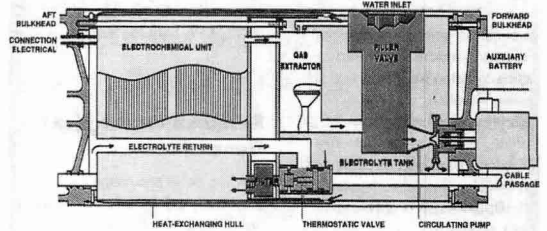
• 리튬 염화 디오닐 전지

어뢰 추진원으로 고율의 리튬 염화 디오닐 전지 연구가 10여년 전부터 프랑스 SAFT사에서 진행되어 왔습니다.

이 전지는 기존 아연 산화은 전지에 비해 3배 이상 에너지 밀도가 높기 때문에 향후 실용화될 경우 추진 성능을 크게 향상시킬수 있을 것으로 기대됩니다. 그동안 5kw(150 V, 35 A), 13kw(150 V, 85 A)급 전지 시제품을 제작, 시험한바 있습니다.

작동원리는 비축형 아연 산화은 전지와 유사하나, 고율방전 및 높은 출력밀도를 가지므로

비축형 알루미늄 산화은 전지



알루미늄 산화는 전지에서와 같은 전해액 순환 장치 및 열교환기가 필요합니다.

지금 현재로서는 최대 출력 600kw, 전체 에너지 120kwh까지 낼수 있는 전지 개발에 주력하고 있습니다.

알루미늄 산화는 전지와 리튬 염화 디오닐 전지 성능 비교

알루미늄 및 리튬전지에 대한 성능에 대해서는 앞서 언급된 바대로 향후 어뢰용 추진전지로서는 아주 적합한 전지이며, 각 국에서 활발히 이의 적용을 위한 연구가 진행되고 있습니다. 최근 프랑스 SAFT사에서 이에 대한 집중적인 연구를 수행하고 있습니다.

2가지 형태의 전지는 고율방전에 따른 많은 열을 발생시키는 관계로 전해액 순환을 위한 펌프, 펌프 모터, 온도조절 밸브 장치 등 전해액 순환 장치가 공통으로 적용되는 점이 유사하나 전해액 비축을 위한 장치에서는 다른 점을 가지고 있습니다.

리튬전지는 발동기구에 의해 단위셀에 전해액 공급이 되는 장치를 가지고 있어 압력용기에 전해액이 비축되고 있고, 알루미늄 전지는 해수에 혼합이 용이하게 될수 있는 고체형태로 전해액이 보관되기 때문에 자유 공간(Free volumes)에 비축되어 있습니다.

이때 전지 활성화를 빨리 시키기 위해 해수가 단위셀에 이르기 전에 반드시 이 비축경로를 거치도록 되어야 하고, 그렇게 하기 위해 펌프 모터는 별도 보조전지에 의해 초기 작동되도록 되어야 합니다. 또한 다량으로 발생하는 수소 분리를 위해 가스분리기가 필요하고, 함외로 그 가스를 배출시킵니다.

이론적인 에너지 밀도로는 리튬전지 1,470 wh/kg, 알루미늄 전지 1,090wh/kg 으로서 상당한 차이를 보이고 있으나, 전체 시스템 측면에서 볼 때는 연결단자, 전해액 분배장치, 전원 단자와 같은 주변장치들을 고려할때 그 차이가 줄어들어옵니다.

리튬전지 전해액은 특수하게 제조된 것으로서, 1 l/Kwh가 필요합니다. 알루미늄 전지 경우는 이것의 2배 정도가 소요됩니다. 실질적으로는 전해액 집중관리를 위해 필요한 해수까지 고려하면 1.5 l/Kwh가 됩니다.

결국 알루미늄 전지와 리튬전지의 적용을 위한 검토 결과 급속 방전, 중간정도 출력, 높은 체적 밀도 측면에서는 알루미늄 산화는 전지가 유리하고, 지속시간이 길고, 높은 에너지 출력, 중량당 에너지 밀도 측면에서는 리튬 염화 디오닐 전지가 유리할 것으로 판단됩니다.

이와 함께 은밀성, 안전성, 수명, 비용 등도 함께 고려되어 선정되어야 할 것입니다.

맺는 말

어뢰의 고속화에 따라 추진원도 고에너지 밀도화 추세입니다. 이러한 발전 추세에 따라 그동안 전지는 초기의 연축전지로부터 최근 적용된 알루미늄 산화는 전지, 그리고 가장 에

알루미늄 및 리튬전지 개발 현황

구 분	적 용	개 발 현 황
알루미늄 산화는 전지	경어뢰 중어뢰	MURENE, A290, Impact 30KW 60V 모듈
리튬 염화 디오닐 전지	경어뢰	7.5KW 150V 모듈
	중어뢰	20KW 150V 모듈 50KW 280V 모듈

셀 스택 및 전해액 소요특성

구 분	120KW 16Kwh 경어뢰		500KW 130Kwh 중어뢰	
	알루미늄	리 둠	알루미늄	리 둠
셀 스택	46kg 270mm	54kg 801mm	345kg 800mm	210kg 1351mm
전해액 (wet)	32 l 40kg	12 l 20kg	180 l 240kg	133 l 233 l
wh/kg	185	216	221	297

전체 에너지 밀도

구 분	120KW 16Kwh 경어뢰		500KW 130Kwh 중어뢰	
	알루미늄	리 둠	알루미늄	리 둠
길이 (mm)	745	993	1530	2325
wh/l	259	195	343	249
wh/kg	131	140	182	205



영국의 Marconi Underwater Systems社(MUSL)에 의해 개발된 Sting Ray(가오리) 어뢰 전해액을 해수로 이용하는 마그네슘 염화은 전지를 사용한 대표적인 예이다

너지 밀도가 높은 것으로 알려진 리튬 전지에 이르기까지 많은 발전을 해 왔습니다.

이러한 세계적인 추세에 부합되고 국내 기술 축적 및 기술의 연계성을 이룩하기 위해서는 반드시 연구되어야 할 필요성이 있습니다.

특히, 일본에서 추구하고 있는 독특한 국방 기술 정책을 국내에서도 정착시켜야 국방기술의 선진화를 달성할수 있을 것입니다.

즉, 비싸도 자체개발 무기만 쓴다는 정책아래 꾸준한 기술개발을 실현하는 일본정부와 국민들의 사고는, 오늘날 일본이 기술 선진화를 이룩한 원동력이라는 사실을 다함께 되새겨 봐야 할 것입니다. \*

#### 참 고 자 료

- ▲ <Maritime Defence> 1990년 4월, pp. 127~139
- ▲ Norman E. Bagshaw, 「Batteries on ships」, Research Studies press, 1982. part IV
- ▲ JP Descroix, Y. Charlot, 「Progress in Advanced Batteries for Underwater Vehicle Propulsion」
- ▲ M. P. LANNOT, L. dussel, J. Hastings, 「Comparison of Aluminum Silveroxide Lithium Oxyhalide Batteries performances for underwater weapons propulsion」