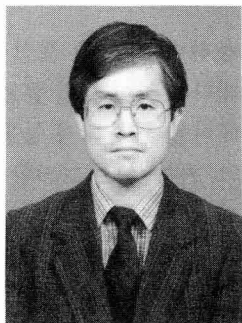


잠수함 및 어뢰의 추진기 변천과 펌프제트



朴 義 東 國科研 선임연구원



잠수함과 어뢰의 추진기는 고속화와 정속화라는 동시 만족이 어려운 2가지 요구조건을 만족시키기 위하여 설계, 이론 해석, 소재, 제작기술 등 전 분야에서 종합적으로 연구 개발되어져 왔습니다. 현재까지도 잠수함에는 저소음화된 추진기, 어뢰에는 반전추진기가 주로 사용되고 있으나 잠수함, 어뢰의 고속화 추세로 볼때 미국, 영국 등에서 적용을 시작한 펌프제트는 관련기술이 계속 발전되어 기존의 추진기를 대신하게 될 것입니다

1986년 10월 지브랄타 근해를 수중 정속항해 중이던 미국의 핵 잠수함은 수중에서 갑자기 종류미상의 물체와 충돌하였습니다.

다행히 큰 피해는 발생하지 않았으나 긴급히 수상에 부상한 결과, 주변에 소련 잠수함 한 척이 동시에 부상하였고, 서로가 충돌하였다는 사실과 큰 피해는 발생하지 않았음을 확인할수 있었습니다.

당시의 충돌사고는 표면적으로는 큰 문제를 발생시키지 않았으나, 미국의 잠수함 연구, 설계 관계자들 및 對 잠수함 작전 관계자들에게는 큰 충격을 주었습니다.

왜냐하면 충돌한 미국의 잠수함은 1985년 1월에 취항한 로스엔젤레스급의 신형 핵추진 공격용 잠수함 오거스터(Augusta, SSN 710)호로 최신의 음탐장비를 갖추고 있었습니다.

특히 이전까지 상대적으로 소음이 큰 소련의 잠수함을 원거리에서 먼저 탐지하고, 자함을 정속화하면서 소련 잠수함의 이동 경로를 포착하여 접근, 또는 적함 소나 음영구역인 후미 쪽으로 이동할 수 있었으나, 당시에는 충돌 직전까지 소련 잠수함의 소음이 수동 소나에 탐지되지 않았기 때문입니다.

미국은 소련 잠수함의 소음 감소 원인을 분석한 결과, 추진기(propeller) 발생소음 감소가 주원인이었으며, 1984년 이후에 취항한 소련 잠수함의 추진기는 레닌그라드 조선소에서 정밀기계 가공됨을 확인하였습니다.

이후의 계속된 조사에서, 일본의 도시바사가 대형 9축 수치제어 밀링기(N/C Milling Machine)를 3축 가공기로 분해하여 밀수출하였고, 노르웨이의 콩스베르그사가 제어용 소프트웨어를 판매한 사실이 발견되어 두 회사는 CO-COM의 제재를 받았습니다.

잠수함 추진기

수중에서 통신하거나 적함을 탐지, 식별할수 있는 일반적으로 유일한 수단은 음파입니다.

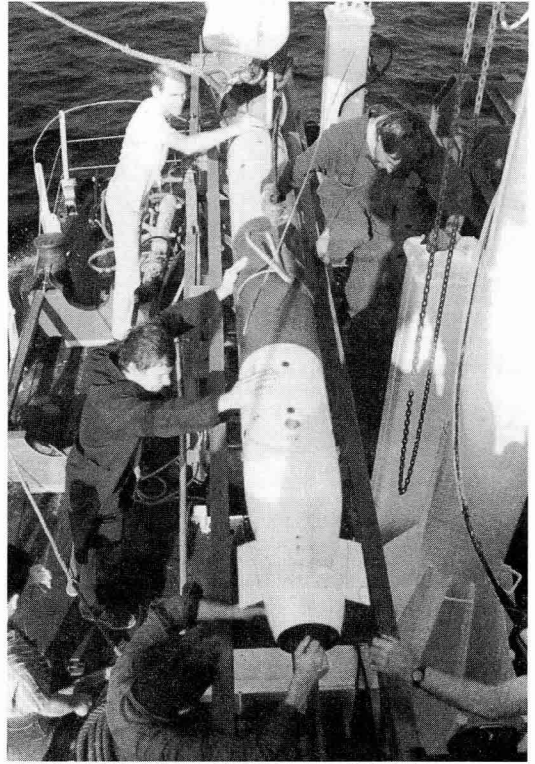
잠수함에서 발생하는 소음은 적함의 소나에 탐지 또는 식별될 뿐만 아니라 과도한 소음은 자함의 소나 성능을 저하시키므로, 잠수함의 소음은 함의 생존과 직결되는 문제이며, 각국은 소음 감소를 위한 많은 노력과 투자를 하고 있습니다.

잠수함의 소음 발생 원인이 되는 요소는 펌프류, 전동기, 기관, 에어콘, 함의 돌출부 등 여러가지가 있으나 중, 고속 항주시에는 추진기가 주 소음원이므로 잠수함의 추진기는 소음 발생을 최소화 시키는 방향으로 설계, 제작 및 재질 분야에서 발전되어 오고 있습니다.

잠수함은 항공기와 달리 추진기(Propeller)가 후미에 위치하므로 선체에 의하여 교란된 유체장 속에서 작동하므로, 추진기 날개 1개가 360도 회전하는 동안 날개가 받는 힘이 계속적으로 변하게 되면 진동 및 소음의 발생은 필수적입니다.

따라서 추진기 앞의 선체 단면 모양은 가능한 원형이고, 추진기 숫자는 선체의 중심선에 1개 설치하는 것이 바람직합니다. 현재 취항하고 있는 전략, 전술용 잠수함 중 러시아의 대형 잠수함 일부를 제외하고 모두 추진기는 1개를 설치하고 있습니다.

잠수함의 선미에는 추진기 바로 앞쪽에 통상 4개의 방향타가 각각 90도 간격으로 설치되므로, 선체에 의하여 교란된 흐름은 방향타에 의해 다시 미소 교란이 더해집니다.

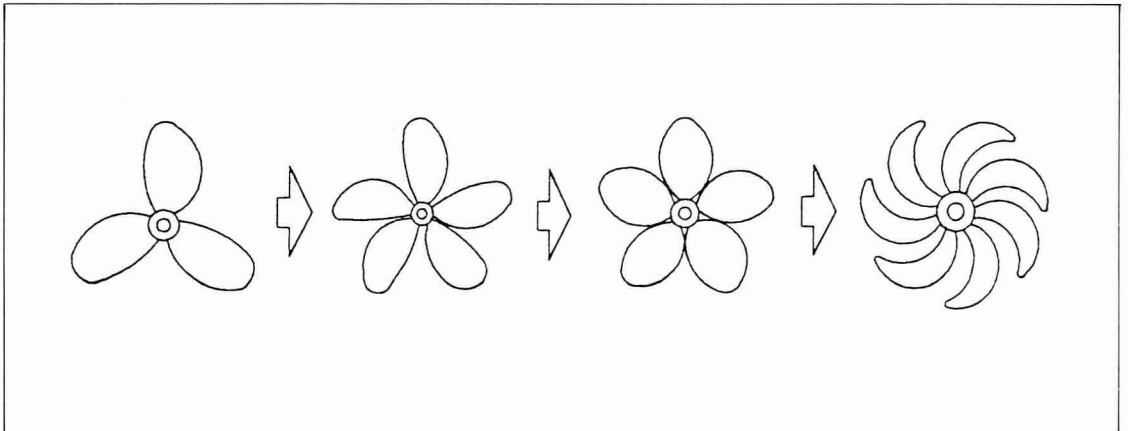


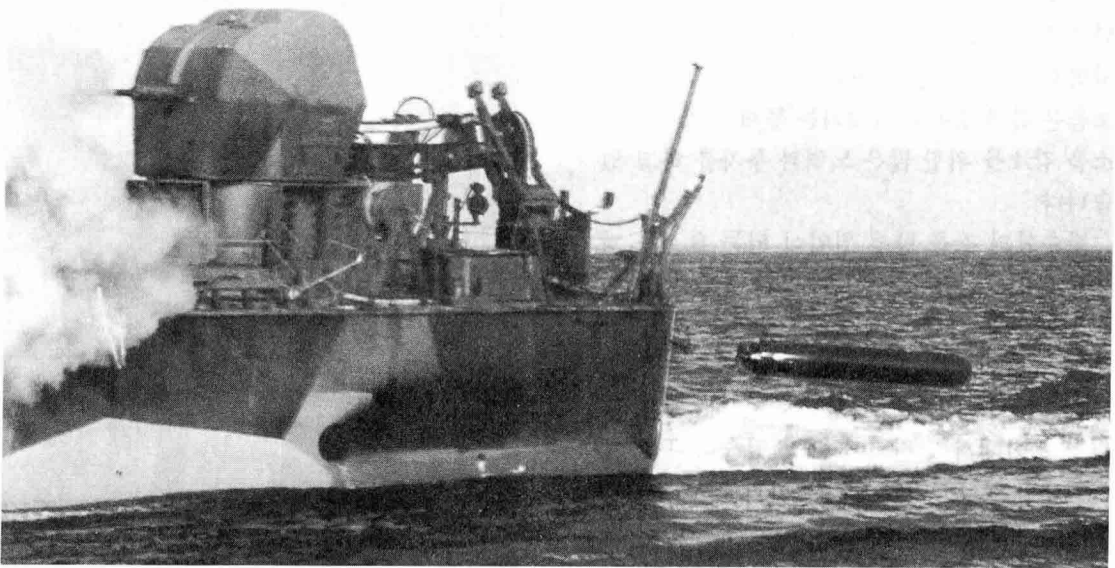
소음은 艦의 생존과 직결되는 문제입니다

추진기의 날개 수를 4개로 할 경우 날개 1개가 어떤 방향타에 의하여 교란된 흐름속을 통과할 때, 다른 3개의 날개들은 다른 방향타에 의하여 교란된 흐름 속을 동시에 통과(회전)합니다.

결국 날개수가 짝수일 경우 추진기가 회전함에 따라 2개 이상의 날개에서 동시에 진동 및 소음이 발생하므로 홀수의 날개가 짝수의 날개보다 바람직합니다.

잠수함 추진기 형상의 변천





진동 및 소음의 감소를 위해 추진기를 정밀 가공하여 제작하는 것이 요구됩니다

현재 세계적으로 6개의 날개를 가진 러시아의 잠수함 일부를 제외하면 모두 홀수개의 날개를 가진 추진기를 설치하고 있습니다.

특정 날개 1개의 입장에서 보면 날개모양이 항공기나 헬기의 회전익처럼 일직선 형태로 되어 있으면 교란된 흐름을 통과할 때 날개의 끝, 중간 및 뿌리가 동시에 교란된 흐름 속을 회전하여 통과하게 되므로, 한 날개 전체가 동시에 진동 및 소음 유발 요소가 됩니다.

이점 때문에 각 날개를 회전방향과 반대방향으로 구부려 놓는 것이 바람직합니다. 각 날개의 휘어진 정도를 스큐(skew)라고 부르며 스큐를 결정하는 방법은 이론적으로 아주 어려운 기술에 속하나, 최근의 잠수함 추진기는 모두 휘어진 날개 모양을 하고 있습니다.

추진기에서 발생 가능한 소음은 여러가지로 나눌 수 있으나, 그 중 날개 표면에서 순간적으로 기포가 발생했다가 사라지는 현상인 캐비테이션에 의한 소음은 아주 크므로 치명적입니다.

캐비테이션을 지배하는 요소에는 여러가지가 있으나 날개의 면적이 클수록 캐비테이션이 적게 발생하므로 날개면적이 클수록 캐비테이션에는 유리합니다.

그러나 1개의 날개면적이 커지면 진동, 소음에도 불리할 뿐만 아니라 추진효율도 저하되므로 통상 한 날개의 면적을 키우기보다는 날개수를 증가시키는 방향으로 변천해 왔습니다. 지금까지 언급된 요소 이외에도 날개 단면의 모양, 두께, 피치분포 등 추진기 저소음화를 위해 이론 및 설계상 고려되어야 할 요소가 많습니다.

잠수함 추진기는 작은 것은 1톤 정도, 큰 것은 수십톤에 이르는 일체로 된 대형 구조물로서 제작시 일반적으로 주물 수축 여유와 기계가공 여유를 고려한 주형을 제작한 후, 주조, 냉각, 기계가공, 필요시 열처리 등의 공정을 거칩니다.

소련이 일본 및 노르웨이의 공작기계를 이용, 추진기를 정밀 가공하여 잠수함의 소음을 감소시켰다는 사실은 추진기 제작 정밀도의 필요성을 입증합니다.

추진기 날개의 단면모양은 항공기의 주익(날개) 및 추진기(propeller)의 단면모양과 조금 유사하나, 날개 어느 곳에도 직선이나 평면 및 원형이 없으며, 3차원으로 휘어져 있습니다. 또한 대형이며 어떤 경우에는 날개 끼리 접친 모양을 할수도 있으므로 정밀제작은 아주 어렵습니다.

항공기 주익의 정밀제작에는 통상 3개의 회전 또는 이동 축을 가진 3축 가공기 정도면 해결이 되나, 잠수함 추진기 제작에는 3축 회전 또는 이동으로는 정밀제작이 극히 곤란하며, 통상 7축 이상의 회전 또는 이동축을 가진 가공기가 사용됩니다.

통상의 추진기 재질로는 망간-청동(Mn-Bz) 계통이 가장 폭 넓게 사용되어져 왔으나, 소음의 극소화를 위해 근래(1960년대 이후)에는 주조, 열처리 및 가공은 어려우나 저소음 특성이 탁월한 고감쇄능 재질(High Damping Materials)인 망간-구리(Mn-Cu) 계통이 개발되어, 현재 선진각국의 잠수함 추진기 재질은 망간-구리 계통의 합금이 대부분입니다.

어뢰의 추진기

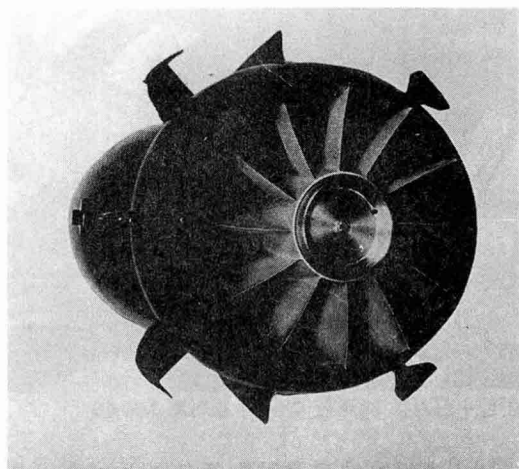
수중무기인 어뢰는 2차대전때 까지만 해도 주로 잠수함에서 수상함정, 또는 수상선단을 공격하는 직진어뢰가 주종을 이루었으나, 현대에는 적의 수상함 또는 잠수함에 능동 또는 수동으로 유도되는 유도어뢰가 대부분이며, 발사 플랫폼도 잠수함, 수상함, 항공기 및 헬기로 다양화되었습니다.

어뢰는 가늘고 길 뿐만 아니라 단면이 원형이며, 단면상에서 무게중심과 부력의 중심이 아주 가깝습니다.

때문에 수상함정이나 잠수함처럼 추진기를 1개 설치할 경우 어뢰의 몸체가 크게 경사하거나, 추진기 회전 반작용으로 추진기 회전방향과 반대방향으로 어뢰 몸체가 회전하게 되므로 성능을 발휘할 수가 없습니다.

이는 헬기에서 작은 회전미익(꼬리날개)을 설치하거나 대형헬기에 주회전익을 2개 설치하여 서로 반대방향으로 회전시키는 사유와 같습니다.

따라서 현재까지도 거의 대부분의 어뢰에는 추진기 2개를 직렬로 배열시켜 서로 반대방향으로 회전시키는 반전추진기(Contra-Rotating propeller)가 사용되어지고 있습니다.

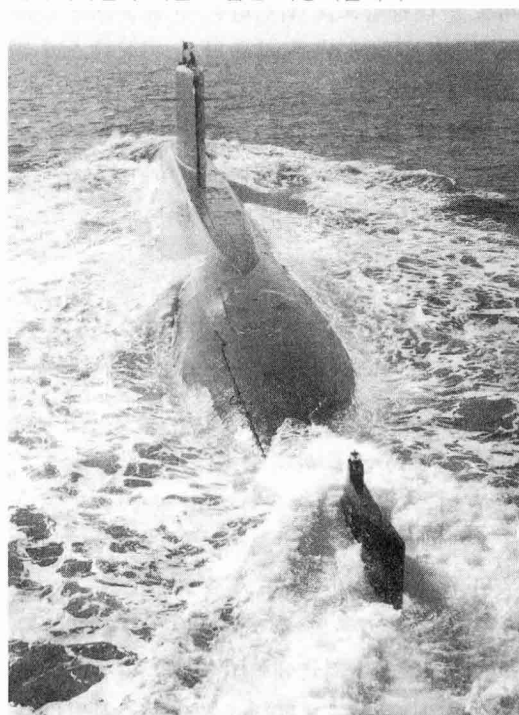


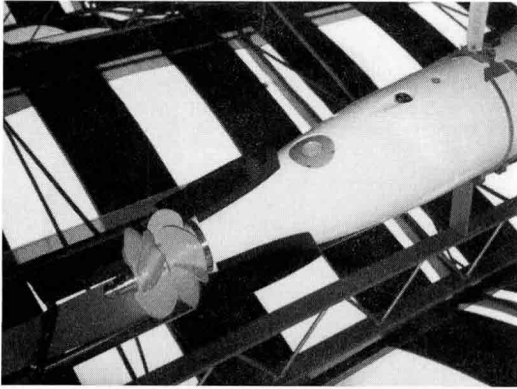
MK-48 어뢰의 펌프제트

어뢰 발사시 통상은 적에게 탐지되므로 저소음화의 중요성이 잠수함보다는 덜하나, 자체 소나의 성능 저하방지 및 피탐 지연을 위한 저소음화가 필수적입니다.

반전추진기의 날개수는 3개 내지 7개 정도가 사용되고, 근래에는 날개수가 증가되는 경향이 며, 또한 대체로 앞, 뒤 추진기의 날개수를 서로 다르게 배열합니다.

캐비테이션에 의한 소음은 치명적입니다





반전추진기를 채택한 미국의 경어뢰 MK-46

반전추진기의 구동원은 주로 전동기가 사용되어지므로 전동기와 추진기 축 사이에 기어박스를 설치하고 1개의 바깥 축과, 같은 축 중심을 갖고 내부에서 반대방향으로 회전하는 안축 등 2개의 축을 통해 추진기와 연결시킵니다. 이 경우 두 추진기의 회전수는 일정하므로 추진기 날개 중 하나라도 손상을 받으면 어뢰 몸체가 경사 또는 회전하여 기능을 상실하게 됩니다.

최근의 중어뢰(Heavy Weight Torpedo)에는 구동원으로 로터(Rotor)와 스테이터(Stator)가 서로 반대방향으로 회전하는 반전전동기(Contra-Rotating Motor)가 사용되고, 기어박스가 필요없게 되어 소음이 많이 감소되었습니다.

또한 추진기 날개가 부분적으로 손상을 받더라도 손상된 추진기의 회전수가 자동적으로 증가하여 어뢰의 추진 기능이 큰 무리없이 유지되도록 되어있습니다.

펌프 제트

세계적으로 잠수함은 전략적, 전술적 요구에 따라 대형화, 고속화하고 있으며, 함정의 고속화에 따라 어뢰도 고속화하고 있습니다.

그러나 대형화, 고속화에도 불구하고 전술적 우위를 유지하기 위한 정속화는 계속적으로 요구되므로 기존의 추진기로는 어느 정도 한계에 봉착하여, 최근에 연구, 개발이 활발히 진행되는 것이 펌프제트(Pump Jet) 추진입니다.

펌프제트는 많은 날개를 가지고 회전하는 로터(Rotor), 회전하지 않는 스테이터(Stator) 및 로터를 둘러싸는 덕트(Duct)로 구성되어 있습니다.

1881년에 개발, 소개될 당시에는 스크류 터빈으로 불리어졌으나 그 이후에 관심을 끌지 못했고, 1950년대 부터 미국에서 연구가 활발히 진행되어 고속 구축함에 적용하려 했으나 몇 가지 사유로 적용되지 못했습니다.

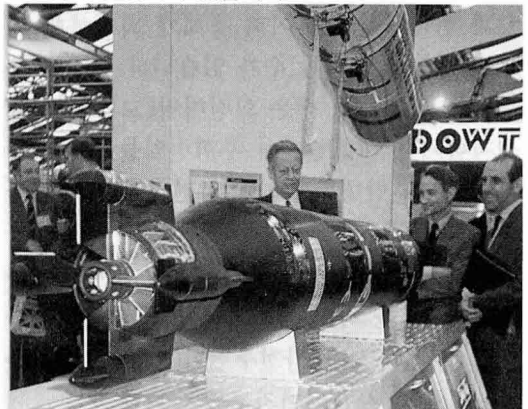
하지만 그 이후 선체가 원형인 운동체(잠수함, 어뢰 등) 중 고속이 요구되는 곳에 적합하다는 결론에 도달한 이후부터 세계적으로 연구, 개발이 활발히 이루어지고 있습니다.

펌프제트는 로터의 숫자 및 모양, 덕트의 형상, 스테이터의 형상 등의 변화에 따라 추진효율의 증가, 어뢰의 몸체 회전 모멘트 보상 등이 가능하나 무엇보다도 중요한 특성은 저소음화(정속화)입니다.

설계기술 및 이론은 대단히 복잡하고 또한 보안이 중시되어 관련 자료는 현재 1970년대의 것이 제목이 변경된 상태로 겨우 알려질 정도입니다.

실제 적용된 것은 잠수함의 경우 1983년에 취역한 영국의 공격용 잠수함 트라팔가(Trafalga, SSN)호가 최초이며, 어뢰의 경우, 1972년에 생산 착수된 미국의 중어뢰 Mk-48이 최초로 약 55노트(시속 102km)를 달성하였습니다.

펌프제트가 채택된 영국의 경어뢰 Sting Ray. 실제 펌프제트와는 형상이 다른 플라스틱으로 만든 모조품이 조립되어 있습니다



펌프제트 적용 현황

구분	잠수함	어뢰
미국	Sea-Wolf (SSN-21, '94 취역 예정)	Mk 48(중어뢰)
		Mk 48 ADCAP(중어뢰)
		Mk 50 ALWT(중어뢰)
영국	Trafalga Class (SSN, 운용 중)	SPEARFISH(중어뢰)
		STINGRAY(경어뢰)
프랑스	Le Triomphant (SSBN, 건조 중)	MURENE(중어뢰)
		E-90 IMPACT(경어뢰)
독일, 이탈리아, 스웨덴 : 연구, 개발 중		

펌프제트는 몇가지 종류로 나누어지나 잠수함에는 대체로 로터가 1개인 펌프제트가, 어뢰에는 로터가 1개 또는 2개인 펌프제트가 사용되어지며 현재 잠수함과 어뢰의 추진기로 적용했거나 설계를 완료한 국가는 미국, 영국, 프랑스 정도이며 이탈리아에서도 설계 기술은 어느정도 확보한 것으로 보여집니다.

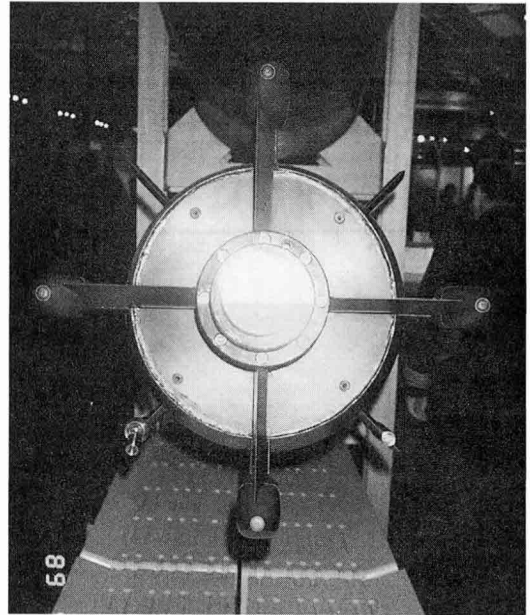
이상의 4개국을 비롯한 선진국들의 연구 동향은 거의 알려져있지 않으나, 잠수함 및 어뢰의 발전 추세로 볼때 펌프제트의 적용은 불가피하며, 추후 설계 및 해석기술의 발달에 따라 적용이 증가될 것입니다.

맺는 말

추진기는 수중에서 적에게 탐지당하는 주요 소음원일 뿐만 아니라 회전수와 추진기의 날개수가 알려지면 탐지된 소음 분석에 의해 피아식별 당함은 물론, 함정의 종류 또는 어뢰의 종류까지 식별당하게 되므로 저소음화가 필수적이며 기술적, 형상적 보안이 중시됩니다.

어뢰의 추진기는 잠수함의 추진기 만큼 보안이 중요하지는 않으나 외형의 사진, 실물 또는 모형(Mock-up)이 공개될 경우 추진기 또는 펌프제트 부분을 가리거나 실제와 다르게 만들어 붙인 경우가 대부분입니다.

잠수함은 수상에 부상하였더라도 추진기가 수면 아래에 위치하므로 보이지 않으나, 건조 중일 경우에도 추진기를 조립한 직후에 커버를 씌워서 외부에 노출을 시키지 않으며, 공개된



영국의 중어뢰 Spear Fish. 실물이 전시되었으나 펌프제트의 후부를 보안상, 고의적으로 막아서 펌프제트의 형상은 보이지 않습니다

건조 장면 사진은 선수에서 찍어 추진기가 보이지 않게 합니다.

펌프제트를 최초로 설치한 영국의 Trafalga호의 공개된 건조 사진은 희귀하게도 후미 쪽에서 촬영된 것이었으나, 펌프제트의 덕트를 막아두어 내부 형상이 보이지 않으며, 최근에 국내 건조 잠수함 이천함의 진수식 장면 사진에도 추진기에는 커버가 씌워져 있습니다.

잠수함과 어뢰의 추진기는 고속화와 정속화라는 동시 만족이 어려운 2가지 요구조건을 만족시키기 위하여 설계, 이론 해석, 소재, 제작기술 등 전 분야에서 종합적으로 연구 개발되어져 왔습니다.

현재까지도 잠수함에는 저소음화된 추진기, 어뢰에는 반전추진기가 주로 사용되고 있으나 잠수함, 어뢰의 고속화 추세로 볼때 미국, 영국 등에서 적용을 시작한 펌프제트는 관련기술이 계속 발전되어 기존의 추진기를 대신하게 될 것입니다.

먼 훗날 초전도 관련 기술이 계속 발전되면 거의 무소음에 가까운 전자기추진(MHD 추진) 함정이 등장하게 될 것입니다. *