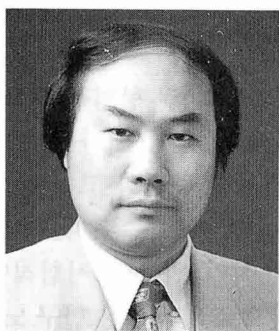


## 잠수함 추진체계의 오늘과 내일 (3)



孔泳卿  
國科研 선임연구원, 공학박사

잠수함 추진체계는 초기의 순수전기추진방식으로 불리는 재래식 추진체제와, 재래식 추진방식의 한계를 극복하기 위해 최근 활발히 연구되고 있는 외기와 무관한 추진장치인 폐회로 추진체계, 그리고 궁극적으로는 에너지 문제로 귀착되어 거의 무한대의 에너지를 가지고 있는 원자력 추진체제로 구분할 수 있다.

이와 별도로 차세대 추진장치로 불리는 전자유체 추진방식에 대해서는 월간 <국방과 기술> 93년 4월호 「선박용 電磁流體 추진장치 현황 및 발전전망」을 참조하기 바란다.

지난 호의 폐회로 추진체계에 이어 이번 호에서는 원자력 추진체계에 대해 살펴본다.

94년 7월호 - 재래식 추진 체계 -

94년 8월호 - 폐회로 추진 체계 -

94년 9월호 - 원자력 추진 체계 -

- 필자 주 -

**원자력** 잠수함은 세계 최초로 1954년 미국에서 Nautilus 잠수함을 건조하여 1955년 역사적으로 원자력에 의한 항해를 성공한 이래 오늘날에 잠수함의 대표적인 위치를 점하고 있다.

최근에는 원자력을 주추진 체계로서 뿐만 아니라, 재래식 잠수함에서 보조 추진 체계로 소형 원자력 추진 적용을 위한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 세계적인 추세에 따라 이 글에서는 원자력 추진 체계에 대해 여러 가지를 살펴보고자 한다.

### 원 자 력

2차 세계대전의 종말을 가져온 핵폭탄도 핵에너지를 이용한 것으로써 평화적인 이용 목적으로 볼 때 무한한 에너지원인 원자력 발전에서부터 인류의 종말을 가져올 수도 있는 핵무기에 이르기까지 그 용도는 다양하다.

이러한 용도에 따라 원자력은 어떻게 다른가를 살펴보는 것도 상당히 의미 있을 것이다. 1938년 한(O. Hahn)과 스트라스만(F.



◀ 미국의 공격형 원자력 잠수함의 주력인 로스앤젤레스급, USS Helena (SSN 725)

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 2개의 원자탄으로 나타나게 되었고 원자력이 평화적으로 이용된 것은 공교롭게도 1954년 세계 최초의 핵잠수함 노틸러스호의 가압 경수로가 그 시초다.

핵 반응 물질의 기본이 되고 있는 우라늄에 있어 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 그 용도가 정해진다고 해도 과언이 아니다.

## 원 자 료

핵에너지의 평화적인 이용 목적으로서의 대표적인 원자로는 우라늄 235의 농축도가 낮아 그대로의 임계상태에 도달할 수 없다.

따라서 중성자의 외부 누출을 최대한 억제하면서 핵분열시 생성된 고속 중성자를 열 중성자로 불리는 아주 느린 중성자로 감속시켜야만 임계상태에 이를 수 있다.

추진용으로 사용되는 것은 주로 가압수형의 것으로 이것은 핵분열 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 하며, 이것은 핵분열을 일으키게 하는 중성도의 속도를 가진 중성자를 이용한다. 감속재로는 베리륨을 사용한다.

용도에 따른 농축도

구 분	발 전 용	합정용(잠수함)	핵 무 기 용
농축도 (%)	0.7~4	20~90	95이상

미국 잠수함 원자로

구 분	내 용	비 고
S2W	가압수형 열 중성자로	15,000마력 노틸러스호
S2C	가압수형 소형 경량로	2,500마력 Tullibee급
S3W	S2W에 비해 출력, 중량 절반	6,600마력 Skate급
S4W	S3W 개량형, 차폐 방식	—
S5W	출력 30% 증가, 연료 교환 용이	15,000마력 Skipjack급
S6W	SSN-21용으로 개발	60,000마력
S2G	개발후 채용 중지	—
S4G	General Electric社 개발	—
S5G	냉각수 펌프 폐지 시도	17,000마력 Narwhal급
S6G, S8G	연료는 환봉, 수명 9~10년	35,000마력 Los Angeles급 60,000마력 Ohio급

\* W : Westing House                      \* G : General Electric

1차계 냉각수의 온도차 약 10°C의 분량에 해당하는 열에너지가 증기발생기에서 2차계의 증기를 발생시켜 터빈을 구동하는 에너지로 변화한다.

1차계 냉각수는 노심을 통과할 때에 방사성을 띠므로 차폐물로 둘러싸여 있다. 미국 잠수함에 사용되는 원자로의 종류는 위의 표와 같다.

있다.

최초의 원자력 잠수함인 노틸러스호에서는 우라늄 농축도가 18~20% 정도였으나 그후 40%로 바꾸어졌으며, Seawolf 원자로(S2G)는 90% 농축 우라늄을 사용하고 있다.

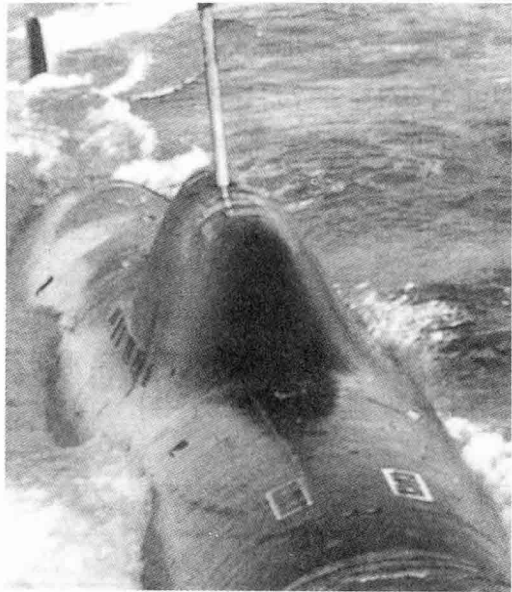
농축도가 높으면 높을수록 원자로는 소형화시킬 수 있다. 초기의 노틸러스의 노심 교체에 수개월이 소요되었으나 그후 설계 변

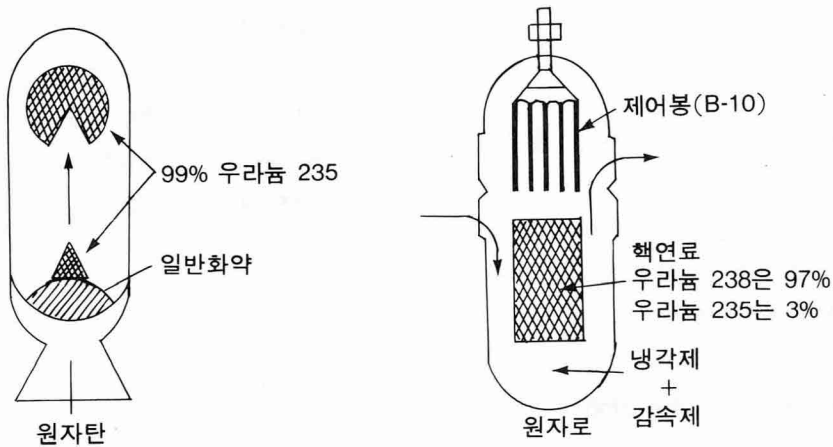
원자력 주 추진장치

우라늄이나 플루토늄으로부터 얻을 수 있는 분열 에너지는 연료유 연소로부터 얻을 수 있는 에너지와 비교해 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 2,500톤급 미국 Skate로부터 30,000톤급 러시아 Typhoon급까지 탑재할 수 있는 원자력 주추진장치들이 개발되어

▼티타늄합금으로 건조된 구조선의 알파급 SSN





원자로와 원자폭탄 비교

경으로 3~4주 정도로 단축되었다.

대부분 채용하고 있는 가압수형에서는 냉각재 및 감속재로 경수를 사용하고 있다. 그 밖에 나트륨 채용 실험을 수행하였으나 실패하였고, 구소련의 Alfa 잠수함에서는 액화 금속 물질을 채용하고 있는 것으로 알려져 있다.

원자력 주 추진장치의 구동축 전달 방식에서 터빈 직접 추진방식과 터보 전기추진 방식으로 대별할 수 있는데, 대부분의 원자력 추진은 터빈 직접 추진 방식을 채용하고 있다.

이 방식에서는 추진기 전달 회전수로 감속시키는 감속기가 필수적으로 수반되기 때문에 소음을 일으키는 주요원이 되고 있다. 이러한 문제점을 없애기 위해서 터빈 발전기를 구동하여 전동기로 추진기를 회전시키는 터보 전기추진 방식을 채용하기도 한다.

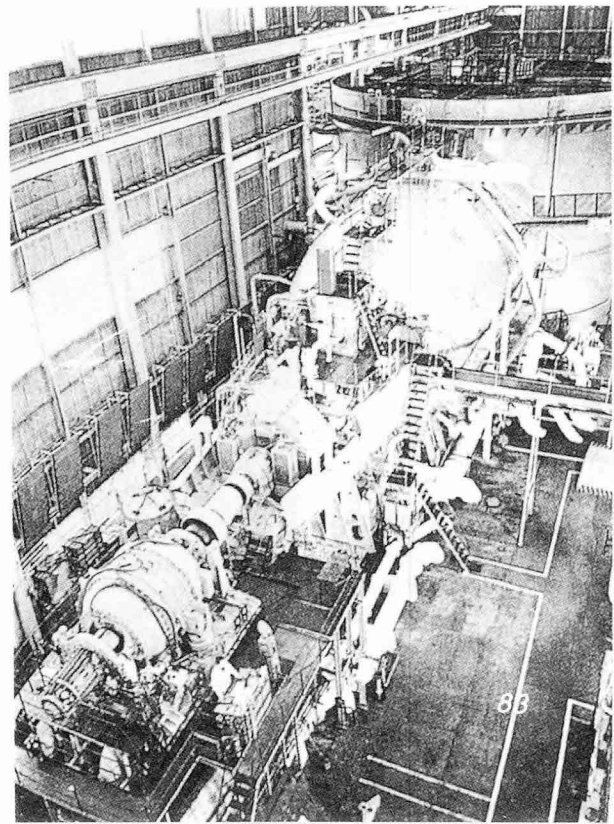
이 방식은 미국의 Sturgeon급 중 Glenard P. Lipscomb의 추진기관과 프랑스 원자력 잠수함의 대부분이 이 방식을 채택하고 있다.

원자력 추진장치의 또 하나의 소음원으로 1차 냉각수를 순환시키는 펌프가 있다. 이

펌프를 없애고 자연순환식으로 해보고자 Narwhal에서 실험이 행하여졌으나 완전히 폐지하는데까지는 이르지 못한 것으로 보인다.

로스엔젤레스급은 함의 대형화로 비용 증대를 가져왔고, 정숙화와 고속화를 주안으로

▼영국 원자력 잠수함 추진장치 시험



하여 주 터빈이나 감속기어 등의 추진장치를 래프트(Raft)상에 올려 놓고 선체로부터 격리시켜 소음을 차단하는 방식을 채택하고 있다.

그밖에 방사능 차단을 위한 차폐장치가 필수적으로 요구되고 있다. 원자력 주 추진장치는 계속해서 軍 요구성능에 따라 고속화, 정숙화, 높은 내구성 및 운용심도의 최대화 등으로 발전될 전망이다.

### 원자력 보조 추진장치

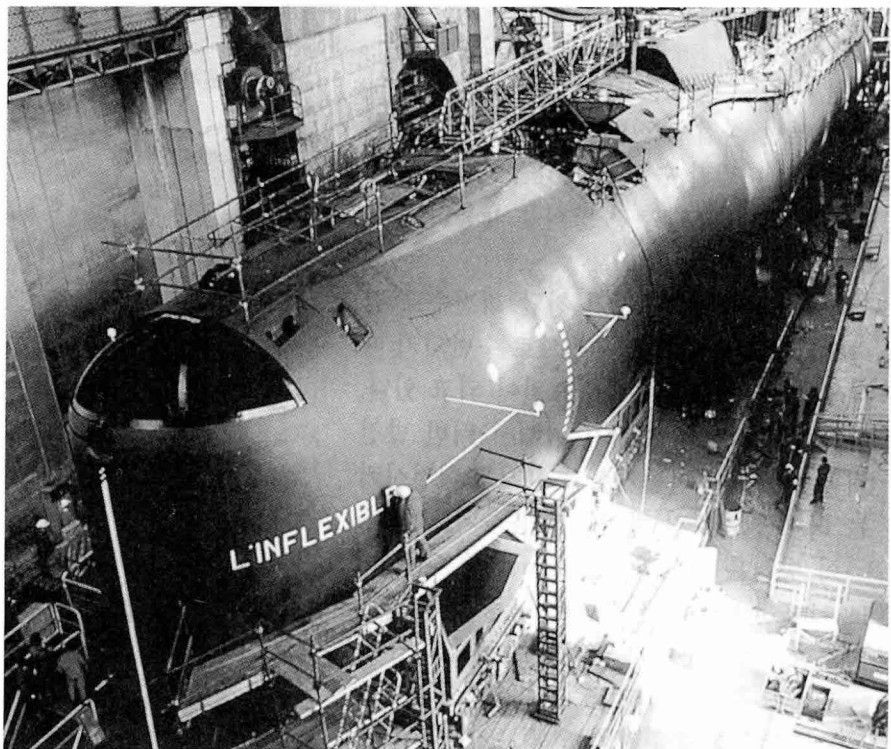
원자력 추진장치를 주 추진장치로서 뿐만 아니라 보조 추진장치로서 적용하기 위한 연구도 진행되고 있다. 즉 재래식 잠수함과 하이브리드 방식으로 운용되는 형태이다.

하이브리드 운용 개념으로 소형 원자력 추진장치는 캐나다 ECS 그룹에서 적극적으로 개발 중인 것으로 알려져 있다. 여기에서

“ 원자력 주 추진장치는 계속해서 軍 요구성능에 따라 고속화, 정숙화, 높은 내구성 및 운용심도의 최대화 등으로 발전될 전망이다. ”

개발되고 있는 저출력 원자력 장치는 다음과 같은 개발 기준으로부터 출발하였다.

- 기존 재래식 잠수함과 하이브리드시키는데 있어 잠수함 기본 성능에 영향을 미치지 않아야 한다.
- 기존 재래식 잠수함의 소음 및 탐지 특성 유지
- 원자로 설계는 안전성, 신뢰성 및 단순화가 보장되어야 한다.
- 운용자 측면에서 재래식 잠수함 기준이 되어야 한다.



▶ 프랑스 최초로 탄도미사일을 장착, 1982년 6월 23일에 진수한 L'Inflexible SSBN

—획득비용이 재래식 잠수함 획득비 20%를 넘지 않아야 한다.

—연료 교체 및 장착은 원자력 주 추진장치 수준이 되어야 한다.

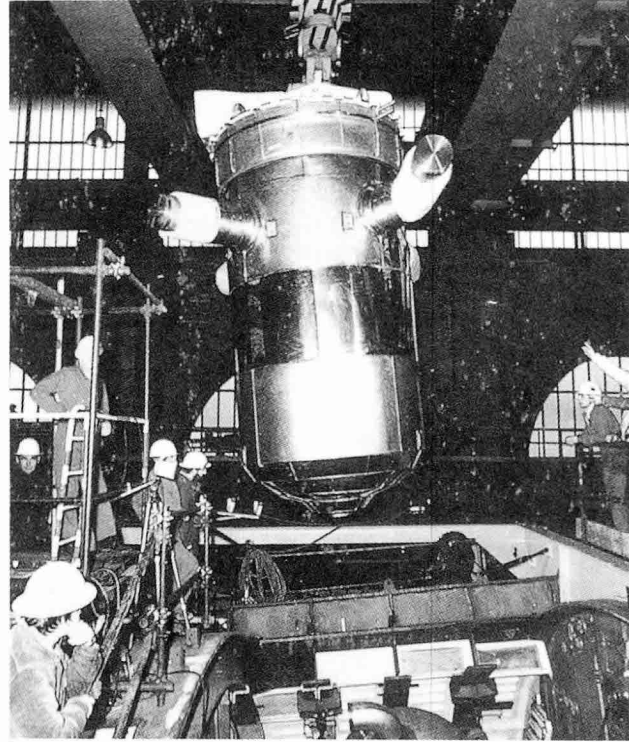
이러한 전제로 출발된 개발 계획은 하이브리드 개념으로 3가지 모델에 대해 연구되었다. (아래 표 참조)

이중에서 400Kw급 및 1000Kw급 설계 특성은 아래 표와 같다.

농축도는 19.7% 정도의 것을 사용하고 있으며 이것은 사고시 자동으로 적절한 연료 냉각 능력으로 노심 출력을 감소시킬 수 있고 안전하게 보상이 가능하도록 되어있는 것이 특징이다.

일반적으로 국제 안전 규정 허용 한도가 20% 정도로 규정되어 있기 때문에 연구용 원자로로 널리 이용되고 있는 실정이다.

보통의 발전소에서는 터빈 구동용 증기회



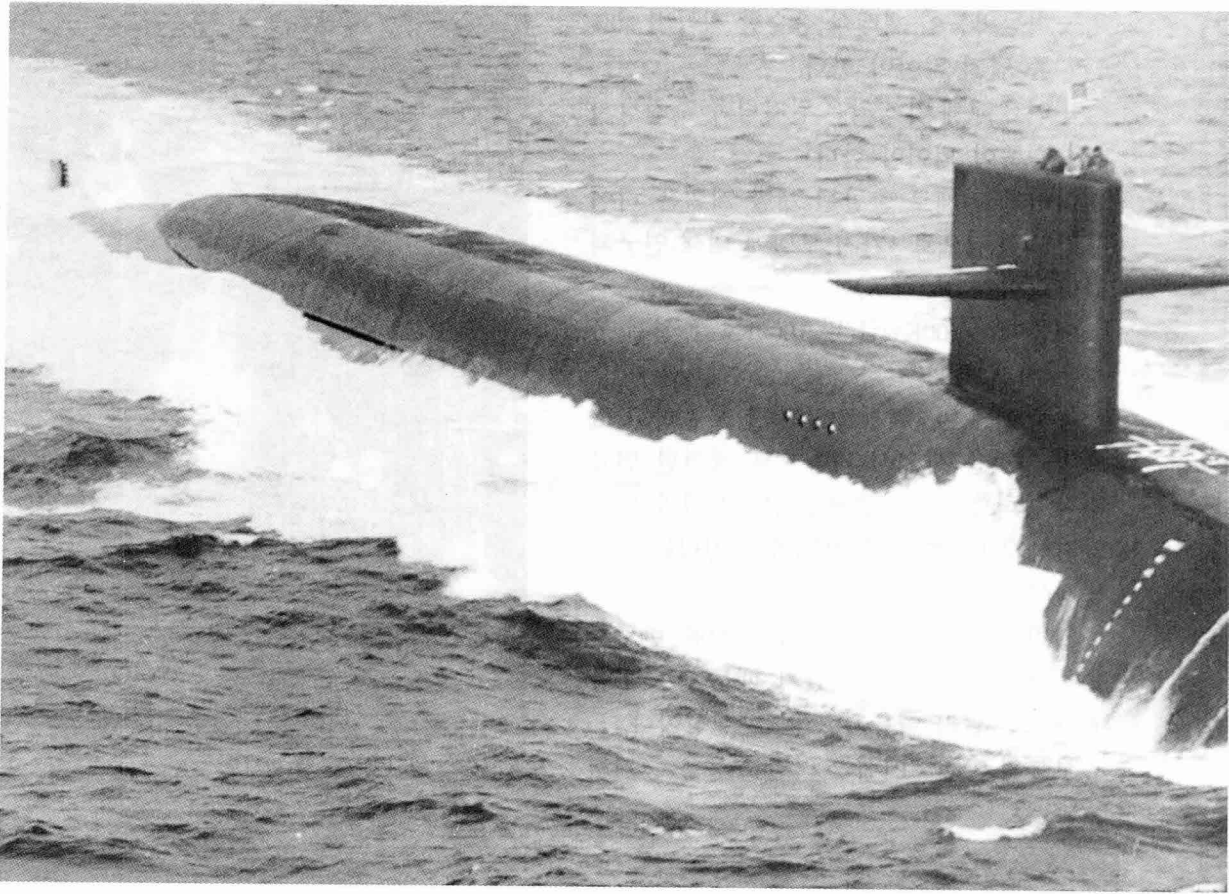
▲ 프랑스 원자력 잠수함 원자로

#### 하이브리드 개발 모델

구 분	100Kw급	400Kw급	1000Kw급
적용 잠수함 톤수	1,000톤급	2,000톤급	2,000톤급 이상
적용 가능 잠수함	209,A17	TR 1700, Type 2400, Type 471	

#### 400Kw 및 1000Kw 특성표

내 용		400kw	1000kw
최소 적용 선 체 직 경 (m)		7.3	7.3
전 체 길 이 (m)		8.5	10
원 자 로 열 출 력 (Mw)		3.5	10.8
순 수 출 력 (Kw)		330~530	1460
연 료		U-Zr H <sub>1.6</sub>	U-Zr H <sub>1.6</sub>
연 료 봉 수 량		480	1275
연 료 교 체 주 기		8~10	8~10
작 동 압 력 (Bar)		17	36
냉 각 수 출 구 온 도 (°C)		166	207
노 심 출 력 밀 도 (W/cc)		45	49
해수온도(°C)	적 정	20	9
	범 위	0~30	0~30



로가 개방되어져 있는 것과 대조적으로 완전한 2개의 병행 폐회로로 설계되어져 있고, 각각 순환식의 증기 발생기, 터빈 발전기, 복수기, 응축기, 보일러 급수장치로써 구성되어 Rankine 사이클 발전계가 병렬 운전되고 있는 것이다.

개발 비용과 관련하여 다른 원자력 잠수함과 비교하면 아래 표와 같다.

개발 프로그램은 1988년 7월에 잠수함 경사각 90°에서 정상 및 비상 조건하에서 예상되는 정상 상태의 원자로 열 수력학적 현상의 실물 크기시험이 완료되어 열 출력 3 MW까지 성공적으로 수행되었다.

그후 1989년 상반기까지 반응 제어 손실, 열 부하 손실, 1차 회로 손실을 포함한 과도 상태에서의 원자로 열 수력학적 성능 시험이

건조 비용 비교

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



완료되었다. 곧이어 전기 출력 160Kw 실물 크기 시제장치가 만들어져 500시간 운전,

1000Kw 하이브리드 장치 중량

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

작동 경사 30° 조건에서 1989년 후반기에 시운전이 시작되어 1990년 말까지 진행된다.

1단계 연구가 마무리되고 나면 2단계 연구를 계속하여 1994년까지 함정용으로 400 Kw급 원자력 보조 추진장치 및 1996~1997년까지는 1000Kw급 장치를 개발할 계획을 가지고 있다.

또한 하이브리드 정보 교환을 위해 ECS는 네덜란드 RDM社와 1989년 2월 공동팀을 구성하였다.

### 맺 는 말

대양형 잠수함에는 무한대의 에너지원인 핵에너지를 이용한 원자력 추진 체계가 적합할 것으로 생각된다. 이러한 원자력 추진 장치는 지금 현재로는 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. (끝)

### 참 고 자 료

- ▲ 과학동아, 1991. 11
- ▲ Submarine Design and Development
- ▲ Modern Submarine Warfare