

초전도모터 추진시스템 함정에 적용가능성 연구

김 종 구
현대중공업

Research on application possibility of superconductivity motor for war ship propulsion system

Jong-koo Kim

Hyundai Heavy Industries co

Electro-Mechanical Research Institute

Abstract - An electric propulsion system integrated with the ship service distribution system offers the naval architect considerable flexibility, and often the choice of a more affordable ship to acquire and operate as compared to a segregated mechanical drive option.

United States of America navy announced in 2000 that they selected the electric propulsion system on next generation warship. Specially there is excellent advantages in superconductivity motors which can have higher efficiency, less vibration and noise, smaller dimensions compared with the conventional motors.

The 5 MW HTS motor for warship test of electric propulsion was developed and tested. Also it was contracted between AMSC and United States of America navy to develop a 36.5 MW HTS motor in 3 years since March 3, 2003.

This paper deals with the technical development tendency of HTS motors in foreign countries as well as in domestic, and it is focused on the application of HTS motors to the electrical propulsion system.

1. 서 론

선박 건조의 역사를 보면 선박의 추진 방법을 선박에 맞추어 개발하는 것보다 주어진 추진방법을 이용하여 얼마나 좋은 선박을 만드느냐가 더 중요한 핵심이었다. 그것은 바람으로 항해하던 때나 요즘의 디젤엔진, 가스터빈 전기하이브리드 시스템에서나 마찬가지였다. 물론 가장 이상적인 것은 선박 추진 시스템보다는 선박 시장의 요구에 따라 각 공간을 배치하는 것이다. 이런 과정에서 특히 해결해야 될 것은 에너지의 효율적 변환과 공간의 효율적 배치이다.

한편 21세기에는 보다 빠르고, 보다 편리하고, 보다 경제적인 선박을 개발하기 위해 서로간의 장점을 결합한 보다 다양한 복합지지형식(Hybrid System)이 출현될 것으로 예견된다. 이것은 선박의 초고속화 초대형화로 대출력 추진장치의 개발이 필수적이다. 현재 디젤기관, 가스터빈 및 water jet의 발달로 상당부분 해결되었으나 초고속, 초대형을 실현하기에는 많은 한계를 가지고 있다. 21세기에는 화석연료가 아닌 새로운 추진장치인 초전도모터추진 장치가 실용화 될 것으로 예측되고 있다.

현재의 일반적인 선박 추진시스템은 선체내부에 위치한 엔진, 터빈 등의 구동 원으로부터 추진축으로 연결된 프로펠러를 회전시켜 추진력을 얻도록 하는 단점이 있어서, 선박의 발전기로부터 선체 외부의 프로펠러와 일체

형으로 구성된 모터를 구동하여 추진하는 전기추진 방식이 개발되고 있다. 전기추진시스템은 진동, 소음을 저감 시켜 함정의 생존성과 운밀성을 대폭 향상시키고, 추진 효율의 향상 및 선체설계의 유연성 제공 등으로 모든 종류의 선박에 제어기술의 발전으로 대용량화가 가능해짐에 따라 활발하게 적용될 것으로 예상된다.

특히 새로운 패러다임으로 등장한 전기추진용 초전도모터는 효율, 진동, 소음, 및 소형화의 장점이 획기적이기 때문에, 미국 해군에서는 2010년 개발목표로 전기추진방식의 차세대 전함 DD21 Land Attack Destroyer에 초전도모터 추진시스템으로 개발을 진행하였으나 최근에 계획을 수정하여 개발기간을 3년으로 단축하고, 용량을 36.5MW로 증대하여 콘솔시험을 구성하여 개발에 착수하였다.

본 연구에서는 함정의 초전도모터추진시스템의 적용 가능성을 검토하기 위하여 국내, 외 기술동향을 파악하고, 선박과 함정들에 대한 검토를 통하여 이 시스템을 함정에 적용 가능성에 초점을 맞추었다.

2. 본 론

2.1 선박추진 시스템

세계 물동량의 90%를 담당하고 있는 해상물류수송의 압도적인 점유율은 계속 유지되며 정보산업사회의 급팽창으로 해상물류수송의 초고속화, 초대형화가 가속될 것이다.

따라서 추진장치의 발달이 디젤 및 가스터빈 추진시스템에서 새로운 추진장치인 원자력추진선, 초전도추진선, 연료전지추진선 등의 개발 및 적용으로 선박의 초고속화, 초대형화를 가속시킬 전망이다.

2.1.1 디젤 및 가스터빈 추진시스템

오늘날 대부분의 상업용 선박들은 추진 구동원으로 그림1과 같은 디젤기관에 의존해왔다. 이것은 프로펠러의 축과 직접 연결되는 저속엔진이거나 대형의 감속기어를 통하여 동작하는 중·고속기계에 관계없이 디젤기관은 근본적으로 100에서 200 rpm의 높은 토크의 프로펠러를 회전시키는 주요 구동원으로서 중기터빈을 대체하여 왔다. 해군의 경우는 연료의 효율과 함께 속도를 중요시하며 많은 수상 선박들이 30 knot 이상으로 항해가 가능하다. 디젤엔진은 그 효율 덕분에 연료가격을 고려해 볼 때 상업용 선박업주들에게 인기가 있지만, 규정 이상으로 중량을 키우지 않고서는 200 rpm 이상으로 스크류를 회전시키는데 필요한 높은 최종 동력을 간단히 얻을 수가 없다. 또한 추진체계가 너무 크고 무거워서 기계의 크기와 위치 또한 화물, 승객을 위하여 이용할 수 있는 공간을 감소시키고, 적용에 제한을 가져왔다

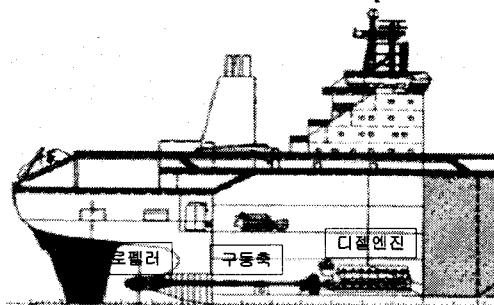


그림1. 디젤/기계 추진 선박

해군은 1980년대 이래로 거의 절대적으로 가스터빈을 사용하고 있다. 중기에서 가스터빈으로 교체되었지만 추진시스템의 한 부분인 감속기어는 여전히 존재하였다. 가스터빈의 사용으로 무거운 터빈 덮개와 보일러가 없어져서 선박의 중량을 감소시키는데 기여했다.

2.1.2 전기추진 시스템

전기추진시스템은 기존의 추진시스템과 비교하여 소음 진동을 획기적으로 저감시켜 함정의 생존성과 은밀성을 높일 수 있는 기회를 제공하고, 일반배치의 유연성이 높아지며 무장배치의 공간과 승조원의 거주성을 높일 수 있도록 해주는 장점이 있다.

최근 미 해군을 중심으로 전기추진체계에 대한 관심과 연구노력으로 그림2와 같은 IPS(통합전기추진체계)의 실용화를 앞두고 있다. IPS의 개념은 동일한 발전기와 전력변환 시스템으로 추진용 전력과 전투시스템 및 보조 장치와 선박의 부대시설들에 전원을 공급할 수 있다. 이는 기존의 기계추진 시스템사용시보다 15~19%의 에너지를 절약할 수 있는 것으로 예상하고 있다.

함정 추진체계의 IPS의 적용에 다른 장점으로는 "구획 전력분배 시스템"을 갖춤으로써 유사시에 필수적인 전력공급처에 전력의 단절 없이 전력공급이 이루어질 수 있어 전투능력과 생존성이 향상되는 점이다.

미 해군은 함선의 운용요구조건을 만족하면서 비용을 절감할 목적으로, 전자기기 등 함내 수요와 전기추진 시스템에 통합적으로 전력을 공급하는 통합전력시스템 (IPS: Integrated Power System)이라는 새로운 개념을 새워서, DD(X)에도 적용하려고 계획하고 있다.

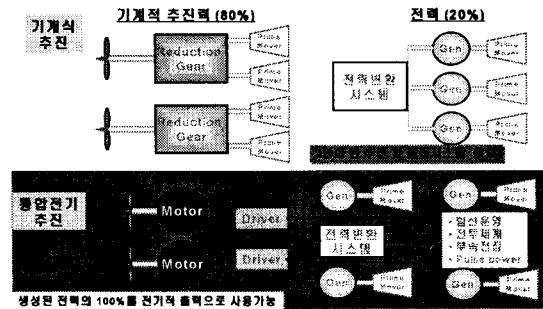


그림2. 전기추진함의 추진체계도

차기 수상전투함의 추진방식으로서, 통합 전력시스템의 실현의 정후가 보이기 시작했다. 즉, 방향변환이 가능한 Pod를 함미에 장치하는 형태이다. Pod내에 소형 대 출력의 모터가 필요하다. 이를 위해서는 높은 전류밀도와 자기밀도가 필요로 하므로, 이제는 초전도 기술이 등장할 차례이다. 초전도모터는 여러 면에서 전기추진장치의 장점을 향상시킬 것이다.

특수선 전기추진 체계의 기술현황과 발전추세를 표1에 요약하여 보여주고 있다.

표1. 특수선 전기추진시스템 기술현황

분야	현황	발전추세
전기 추진	• 직류 전동기 사용	• 헬리콥터: 전동기 사용 - 경량화 및 소형화 - 저속 전速성 증가 ■ 초전도 전동기 개발중
전력 계통	• 전력계통 기본진화	• 전력계통: 발전장치 - 가동 안정성 및 효율 증가 - 경비 효율 증가
자동화	• 전용 제어판 구성 • 계통별 개별 자동제어	• 계통: 통합 제어 - 대기동 관리 - 계통간 연동
전자 기 신호	• 직류기자 처리한 고려	• 전자제어: 제어, 조종 - 적외선제어 및 교류 전/자기 처리까지 고려 ■ 전자식 원자로 시사장자

2.2 고온초전도 모터의 기술개발 현황

고온초전도 모터는 그림3에서 볼 수 있는 바와 같이, 기존의 동기모터의 계자권선을 고온초전도체를 이용하여 제작함으로서 효율상승 및 소형·경량화를 도모하고 있다.

초전도모터는 동기모터 및 단극형 직류모터가 주요한 개발대상으로 되어 있고, 기술적으로는 발전기와 같은 범주에 들어간다. 1980년대 고온초전도(HTS)가 출현하기까지는 선박추진용 등 특수용도에 단극형 만이 개발되어, 발전기에 비하여 소용량의 동기모터는 초전도화에 의한 효율상승이 냉동기손실로 상쇄되어 이점이 없는 것으로 평가되었다. HTS의 출현에 의해 경량화면서도 전력변환기에 의한 가변속제어와 조합에 의한 고효율의 시스템의 가능성성이 있는 것으로 판단된다.

2.2.1 국외 기술개발 동향

미국의 업체들이 기존의 모터와 같은 회전기의 계자코일을 초전도화 하여 계자의 발생자장을 크게 높여서, 기기의 효율과 출력을 높이고, 소형화 및 경량화, 안정화 시키는 일에 기여하고 있다.

Rockwell Automation과 EPRI는 1987년 모터에 HTS를 적용한 경우의 평가연구를 하고, 1994년에 SPI 프로젝트에 참가하여 1단계로서 4극, 1800rpm, 125hp(94kW) 동기모터를 개발하였다. 1996년 2월에는 27K로 목표를 초과하는 200hp(150kW)의 시험에 성공하였다. 선재는 AMSC사의 BSCCO-2223테입으로 27K에서 100A(7,500A/cm²)로 하였다. 계속하여 2단계에서는 1,000hp(750kW) 및 5000hp(3750kW)의 준상용기 prototype의 개발을 진행하였다. 이 연구에서는 가변속장치(ASD)와 조합하여 통상의 유도기에 대해 2% 높은 98%의 효율을 얻었다.

1999년 4월에는 4개의 더블팬케익 코일을 완성하고 공장실험에 실시되었다. 냉동기부하에 의한 효율의 저하는 77K에서 운전하는 경우 0.1%, 30K에서는 0.3%로 예상되고 있고, 발전기와 같은 대용량기에 비하면 임팩트는 크지만 HTS의 특성으로부터 30K에서 운전한다고 하여도 효율의 이점은 충분하다. 2001년 7월에는 AMSC에 의해 5,000hp HTS 모터를 제작하였으며, 기존의 유도형 일반모터에 비하여 무게와 부피가 1/2로 줄었고, 효율에서 2%의 상승이 있는 것으로 알려졌다.

그림3은 AMSC사에서 2003년 3월25일 무부하시험을 성공적으로 수행한 5MW HTS 동기모터를 보여주고 있으며, 이는 2003년 7월에 미국해군에 납품예정이다.

최근 2003년 2월28일에 미 해군의 해군연구소(ONR)는 36.5MW(49,000HP), 120 rpm 고온초전도 모터를 제작 납품토록 7,000만 달러에 계약 하였다. 개발기간은 37개월이고, 참여기관은 핵심기관인 AMSC사 외5개 기관이 참여한다. 이 초전도모터는 해군함의 차세대에 동력을 공급하도록 설계된다. 또한 모터의 무게는 기존 전동기(200톤)에 비교하여 1/3, 크기는 1/2로 설계된다.

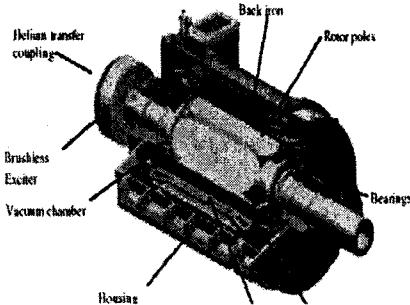


그림3 5MW 고온초전도 동기모터 부품도

그림4는 미국에서 개발되어진 고온초전도 모터의 이력을 나타내고 있다.

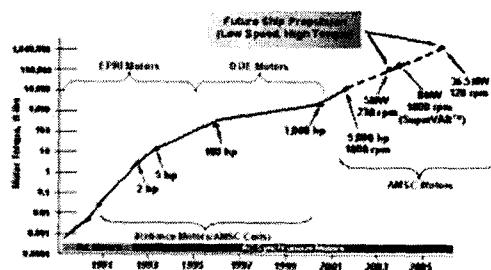


그림 4 고온초전도 모터개발 이력

2.2.2 국내의 연구개발 현황

국내에서의 초전도모터와 발전기의 연구개발은 최근 몇 년간 대학과 연구소에서 일부 수행되었으며, 초전도 모터의 경우 1997년에 "고온초전도 모터의 설계 및 제작"에 관한 연구"과제(주관: 연세대)를 수행하여 0.7 마력의 고온초전도 동기모터를 설계·제작하여 특성시험을 수행한 적이 있다. 또한 1988년에 "20 kVA 초전도 교류 발전기의 개발에 관한 연구"과제(주관: 기초전력공학공동(연))를 수행하면서 기초연구가 진행되었다.

현재는 고온초전도 개발을 위해 21세기 프로토이 연구개발사업이 진행 중이며, 이 연구에서 고온초전도모터 개발에 관한 1단계 목표는 100hp급 동기모터의 개발을 목표로 하고 있다.

먼저 1차년도에 고정자, 회전자 및 계자코일 등의 설계기술을 완료하고 2차년도에는 각부의 제작을 거쳐 3차년도에는 전체조립 및 시험과 대용량기 개발을 위한 요소기술연구를 수행하는 것으로 되어있다. 본 프로토이 연구개발사업은 총 3단계로 2단계에서는 1,000hp급 고온초전도 모터를 조기 상용화하여 시장개척을 이루고, 최종 3단계에서는 3,000마력급 고온초전도 모터를 상용화하여 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있다.

2.3 초전도모터 추진시스템 핵심적용 검토

가장 이상적인 선박의 추진방법은 선박 추진 시스템보다는 선박 시장의 요구에 따라 에너지의 효율적 변환과 공간의 효율적 배치이다. 다시 말하면 선박 추진 모터와 발전기의 전력 밀도가 극적으로 바뀌어 효율이 변화하는 부하에 대해 매우 높게, 그리고 균일하게 된다면, 많은 다른 문제들은 해결될 것이고, 선박 설계가 순조로워 질 것이다.

곧 미 해군에서 지원하는 5MW급 모터 개발과 시험을

통해 고온초전도 회전기 설계 기술이 완성되면 가까운 미래에 고온초전도 추진 시스템이 개발되고 그에 따라 선박 추진 시스템에 대한 오랜 숙제가 풀리게 될 것이다. 고온초전도 모터와 발전기는 크기가 작고, 가볍기 때문에 선박에 설치가 용이하여 많은 설계사들이 안고 있는 문제들을 해결해 줄 수 있을 것이다. 초전도 선박 추진 시스템은 성능 향상을 통한 사업 이윤 증가를 선주들에게 안겨줄 수 있을 것이다.

이러한 장점 때문에 모든 항해 선박 그리고 탱크 왕복 선박, 제품 운반선, 페리, 쇄빙선, 시추선 등 다른 종류의 선박들도 선체와 추진 시스템 모두 전기 추진시스템으로 바뀌었다. 게다가 세계 13 개국의 해군은 근대적인 전기 추진선박을 보유하고 있거나 설계/제작 중에 있고 또는 그러한 프로그램을 시작한다고 발표하였다. 이들 중 가장 두드러진 것은 미 해군인데, 2000년에 발표된 내용에는 차세대 해상 전투선박은 전기 추진 시스템을 갖출 것이라고 하였다.

2.3.1 에너지 변환 효율 및 전력 밀도 향상

기기의 효율은 수십 년간 연구되어진 바에 따르면 모터의 기하학적인 모습, 회전자에서의 철심 존재 여부, 회전자 코일의 구성 물질 등의 변수에 대한 함수이다. 그중 가장 큰 영향을 끼치는 것은 회전자 코일의 구성 물질이다. 전기적으로 손실이 없는 고온초전도물질의 발전은 이러한 측면에서 회전기기의 효율을 극대화시킬 수 있으며 일반적인 회전기에 비해 절반 정도의 크기와 무게를 가질 수 있다.

고온초전도 선재로 만들어진 전기추진 모터는 훨씬 가벼워지고 부피가 작아지고, 모든 부하에 있어 효율적인 운전이 가능하게 된다. 이로 인해 선박 내부에 설치하기가 더 쉬워지고 모듈화된 선박 건설이 용이해지며 선박 설계가 용이하게 된다. 즉, 대용량급 고온초전도 모터는 외부 pod에 쉽게 설치가 가능하며 선박제조 공정이 단순화된다. 이러한 고온초전도 모터와 발전기에서 고려해야 될 것은 고온초전도 선재를 냉각시키는 냉각 시스템이 가능한 작고 가격이 저렴해야한다는 것인데, 현재 의료 진단 장비에서 세계적으로 사용되고 있는 냉각 시스템에 비해 더 작고 간단하게 된다.

고온초전도 모터나 발전기가 효율이 매우 높은 것은 고온초전도 선재가 같은 크기와 무게의 보통 구리 선재에 비해 140 배나 많은 전류를 흘릴 수 있기 때문이다. 더 큰 전류는 더 큰 자속밀도를, 모터의 경우 더 큰 자장의 세기는 기기의 단위부피당 더 큰 토크를 의미한다.

고온초전도 모터는 또 하나의 장점을 갖고 있는데, 그 효율이 전 전력범위에 걸쳐 거의 일정하다는 것이다.

2.3.2 크기/무게/전력 비교

특히 모터와 발전기에 모두 적용했을 경우 선박제조자들에게 이러한 장점의 관계는 아주 중요하다. 예를 들어 5 MW에서 90 MW까지의 범위를 갖고 해양 추진에서 필요로 하는 저속에서의 고온초전도 동기 모터와 기존의 동기 모터의 다양한 크기와 무게를 비교해 보자. 모두 4.2kV 기기이다. 그림5는 두 기술의 무게와 전력에 관한 비교이다. 크기 비교는 고온초전도 모터는 바닥부분을 제외하고 1m, 그보다 큰 일반 모터는 역시 바닥 부분을 제외하고 2m의 유지보수 공간을 포함하였다.

고온초전도 모터에 의해 달성된 무게 감소는 특히 pod 용량에 있어 중요하며, 이 pod 추진체를 이용한 컨테이너선은 2.5~4 % 이상의 컨테이너를 더 실을 수 있다.

고온초전도 모터는 무게가 가볍고 크기가 작아 특정한 크기에 대한 요구에 최적화할 수 있다. 이는 추진 pod의 유체역학적 성능을 최대화하거나 선박내 화물 공간을 증가시키고, 갑판을 낮게 하거나 기기의 효율을 최대화 하기 위해 추진 모터의 직경을 최소화하는 것을 포함한다. 기기의 크기가 줄어들면 군용 선박이나 상업 선박 등 모

든 종류의 선박에 실질적으로 이익이 되는 공간과 갑판이 절약된다.

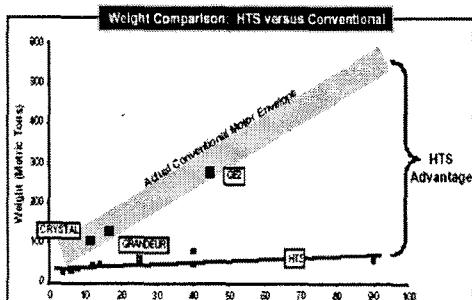


그림 5 기존모터와 HTS모터의 무게비교

이러한 작은 모터와 발전기를 이용하면 더 많은 수입을 창출하는 공간을 더 만들 수 있고, 훨씬 창조적인 설계를 가능하게 하여 선박 기기의 공간 배치가 훨씬 자유롭게 된다. 예를 들어 25 MW급 고온초전도 발전기를 생각해보자. 17 톤 정도의 해양 가스 터빈 엔진을 합쳐 모든 유닛의 무게는 기존무게의 1/3정도인 50 톤보다 작아질 수 있다. 이 무게는 어떤 선박에 있어서는 갑판실에 시스템을 실을 수 있을 정도로 가벼운 것이어서 배하부에 공간을 더 제공할 수 있고 더 나은 가스 터빈 효율을 가질 수 있으며 유지보수의 접근이 쉬워지는데 이는 어떤 경우에는 환경적으로 친하지만 상대적으로 비효율적인 가스 터빈의 단점을 보완해주는 역할을 한다.

앞서 언급한대로 고온초전도 추진 시스템은 특히 대부분 시간동안 부분적인 부하 상태에서 운전하는 여행 선박, 해안 상업 선박, 전투선박에서 낮은 속도로 운전할 경우에도 효율이 높다는 부가적인 장점이 있다. 전체적으로 고온초전도 기기의 고효율로 인한 연료 절약으로 운전 상황에 따라 다르긴 하지만, 임시 계산에 의하면 년간 배 한척당 \$100,000에서 \$500,000 원을 절약할 수 있다고 AMSC사에서 발표한바 있다.

2.3.3 전기적 드라이브 시스템

모터나 발전기의 자장 통로인 철심이 아주 없거나 거의 없기 때문에 전원장치에 와곡이 거의 발생하지 않고 모터로부터 노이즈 피드백이 거의 없다. 이로 인해 전력 조절 시스템의 필요한 문제가 간단히 해결될 수 있고 매우 조용한 기기를 제작할 수 있다. 발전기 회전자가 작아지면 소음을 줄일 수 있다.

다른 관점에서는 고온초전도 기기는 일반적인 전기기처럼 동작한다. 이와 동시에 시스템의 간단화에도 불구하고 기존의 동기 컨버터, 싸이클로컨버터, 일반적인 모터에 사용되는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 기술을 이용한 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터등과 같이 사용할 수 있다. 단지 용량증대에 따른 대책이 필요하며 다음과 같이 수상함과 잠수함 2분야로 나누어 생각할 수 있다.

수상함은 10kv, 2*15MW, 135rpm, Synchro Converter Drive, 24/12 pulse 분산추진시스템으로 고압용 Thyristor inverter 가 사용되고 있다.

또한 잠수함은 5MW*1, 660V, 230rpm의 저 전압 IGBT 소자를 사용하여, 여러 대의 인버터를 병렬로 연결해서 사용할 수가 있다.

전기 추진 방식을 차세대 전함에 적용할 것을 결정한 미해군은 향후 초전도모터의 실제 적용을 염두에 두고 있다. 현재의 19MW급 전기추진 선박의 개념설계 결과로 영구자석형 모터의 경우 중량은 50ton, HTS모터의 경우 19 ton으로 상당히 고줄려화 할 수 있다. 따라서, 고온초전도 모터로 교체가 가능하도록 설계될 것이며 적절한 투자가 필요할 것이다.

3. 결 론

고온초전도의 미래는 어떻게 되고 언제 광범위하게 사용이 될까?

고온초전도 모터의 경우 5000 마력, 1800 rpm 급이 제작되어 5900 시간동안 시험되었다.

230 rpm 5 MW급 선박 추진 모터는 미 해군 연구소에 의해 지원받아 AMSC 사에서 제작되었으며 2003년 후반에 엄격하게 평가될 것이다. 100 MVA급 고온초전도 상업용 발전기는 미국 에너지성(Doe)에서 지원 받아 General Electric 사에서 개발 중에 있다.

선박과 잠수함에 대해서는 효율과 크기와 신뢰성 및 조용함이 중요한 요인이 되며, 고온초전도와 저온초전도 모터 모두 기존의 전기 구동 시스템보다 기관실의 공간을 더 적게 차지한다. 특히 잠수함의 경우 효율2% 상승으로 많은 배터리 무게를 줄여주며, 더욱더 효과적인 형태를 구현하고자 하는 선체 설계자들에게 융통성을 줄 수 있다. 그리고 선박 설계자들은 길게 연결된 구동축에서부터 자유로워질 수 있다.

향후 현재의 연구 프로그램으로 초전도모터의 상업적 이용가능성이 입증되면, 이 운전에 따른 절약효과로 인해서 새로운 기기의 잠재적인 시장이 형성될 것이다.

해운 산업에서 추진용으로 초전도모터에 대한 상업적인 채용은 가까운 장래에 이루어질 것으로 보이며, 여러분에게 전기추진방식의 타당성이 일반적으로 받아들여지고 있다.

따라서 현재 우리가 해야 될 것은 함정에 고온초전도 모터가 가져올 수 있는 장점들과, 현재 상전도 모터가 갖고 있는 효율향상의 한계와 대용량화에 따른 부피 및 중량의 증대, 설치장소의 어려움을 해소하기 위해서는 고온초전도 모터 채택이 될 수밖에 없는 이유를 이해시킬 필요가 있다. 또한 범용의 모터 양산체제로 가기 전에 군용선박과 같은 비상업용 분야의 설비에 이러한 새로운 기술을 적용하여 경험적인 신뢰성과 이용가능성 등을 검증하는 것이 우선순위라고 생각한다.

(참 고 문 헌)

- [1] David Driscoll, Burt Zhang, Viatcheslav Dombrovskl "Construction and testing of a 1,000HP High Temperature Superconducting Motor" IEEE, Paper No. PCIC-2002-28
- [2] S. Karon, AMSC. MARTIME REPORTER AND ENGINEERING NEWS September 2002. "Optimal Electric Ship Propulsion Solution"
- [3] S. Kalsi and S. Karon, "Compact Light Weight Ship Propulsion Motor" Presented at the Ship Propulsion System Conference London, UK 21-22 October 2002.
- [4] 해군 조합단 연구보고서, 2001.12 "함정설계기술 기반구축 연구"
- [5] 권영길, 해군 조합단 세미나, 2002.11 "차세대 초전도모터의 개발현황 및 함정 적용가능성"
- [6] 김종구 외3인, 현대연구보고서, 2002.12 "고온초전도 동기 모터 요소기술 연구"