

실용회급 고속형 초전도 모터 개발

권영길
한국전기연구원 책임연구원

1. 개발의 배경

오늘날 첨단기술의 발달과 함께 지속적으로 증가하는 에너지 수요와 이에 동반하여 대기 오염의 주범인 CO₂가스 배출량의 급격한 증가에 대해 세계 각국은 서로를 감시하며 지구의 지속가능한 발전을 위한 대책을 마련하고 있다. 이와 같이 친환경적이며 에너지 저소비형의 산업기반 조성을 위해 총 전기에너지 소비의 25%이상을 차지하는 1,000마력이상 산업용 모터의 효율향상과 크기, 무게 등을 저감하는 기술 개발을 꾸준히 개발해 왔다.

그러나 기존 산업용 모터의 경우 자로(磁路)의 형성과 자장의 집중을 목적으로 회전자와 고정자에 상당량의 철심을 사용하는데, 철심의 자기(磁氣) 포화에 의해 고자장 발생에는 한계가 있어 산업용 모터의 고성능, 고효율화에 걸림돌이 된다. 또한, 철심의 사용은 회전자의 무게증가, 와전류, hysteresis 손실 발생으로 전력손실을 초래하여 산업용모터의 효율 저하의 원인이 되기도 하며, 산업용 모터를 대용량화할 경우 전체의 무게와 부피 증가는 필연적이며 이는 더 넓은 설치 공간, 제작비용뿐만 아니라 운반 및 설치비용의 증가를 초래한다.

따라서 기존 모터 기술은 이미 한계점에 접근하여 더 이상의 기술향상을 기대하기 어렵기 때문에, 이러한 기술적 한계를 돌파하기 위한 신기술로서 초전도 기술을 응용하는 연구가 활발히 진행되게 되었고, 이미 미국, 독일 등 선진각국에서는 초전도모터의 핵심기술을 확보하고, 대용량 실용화기 개발을 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 이에, 우리나라도 차세대 초전도모터 개발을 위한 핵심기술을 확립하고, 세계시장에서의 기술경쟁력을 확보하기 위해 21세기 프런티어연구개발사업인 차세대초전도 응용기술개발사업단에서 수행 중인 DAPAS Program 으로 2001년부터 시작된

1단계서 상용화 모델을 축소한 100마력급 고온초전도 모터 개발의 개발에 성공한데 이어 2004년부터 실용회급이 대용량, 고속형 1300마력 초전도모터 개발을 시작하여 본격적인 실용화 개발에 착수하였다.

본 논고에서는 이와 같은 초전도 모터의 국제적인 개발동향을 살펴보고, 1300마력급 초전도 모터 개발내용과 향후의 개발방향에 대하여 언급하고자 한다.

2. 국외 기술개발 현황

그림 1에 세계적으로 개발이 진행되고 있는 초전도 모터 및 초전도 발전기의 개발동향을 요약하여 도표로 나타내었으며, 일본, 영국, 중국등 많은 나라에서 초전도회전기에 관한 연구개발을 진행하고 있으나, 대표적인 선진 개발국인 미국과 독일의 개발현황을 구체적으로 소개한다.

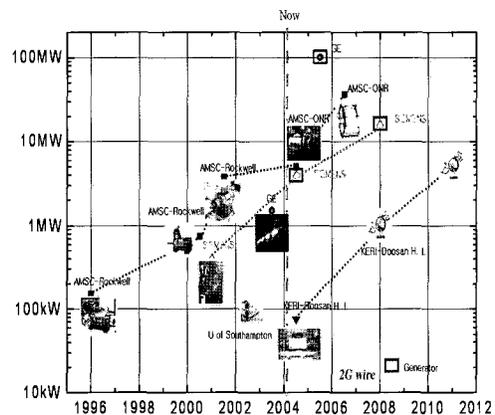


그림 1. 초전도 모터/발전기 개발 추이

■ 미국

미국이 이 분야에서 가장 활발한 연구를 진행 중이며, 세계 최고의 기술을 보유하고 있다. 1990년대 중반에 Bi계열의 고온초전도선재를 이용하여 소형의 직류모터를 제작 시연하는 것으로 시작하여, 1996년에는 Bi-2223

선재를 이용한 200마력급의 동기모터를 개발하였고, 그 후 AMSC(American Superconductor Corporation)와 같은 초전도 전문 기업이 주가 되어 1000마력, 5000마력의 초전도 모터의 개발에 성공하였다. 더 나아가 2002년 2월에 미해군의 ONR(Office of Navy Research)으로부터 선박에 장착할 230rpm, 5MW의 고온초전도모터를 8백만 달러에 공급하는 계약을 체결하여, 2003년에 영국 ALSTOM사와 같이 성능평가를 마치고 미해군에 납품한 상태이다. 또한 같은 시기에 미 해군으로부터 차세대 해군 군함에 장착할 36.5MW의 고온초전도모터를 개발하기 위한 7천만 달러의 계약을 체결하여, 그 동안 설계 및 제작을 진행하여 2007년 상반기에 성공적인 성능시험을 완료하고, 미 해군에 인도한 상태이다.

이와 같이 미국에서는 초전도 모터의 최대 장점인 기존 모터에 비하여 획기적으로 소형, 경량화의 가능한 고성능화 특성을 이용하여, 일차적으로 군함의 추진용 모터로 적용하여 군함의 기동성의 및 조정능력의 대폭적인 향상을 통하여 전투력의 향상을 도모하고 있다.

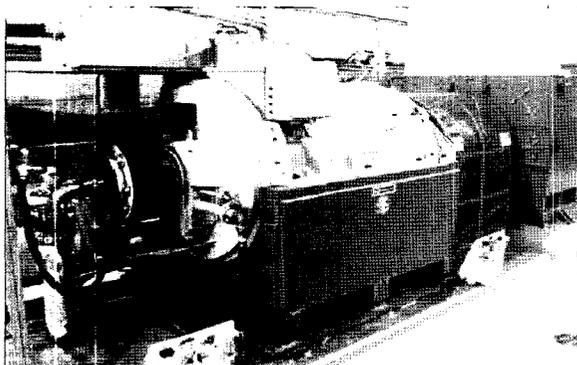


그림 2. CAPS에서 시험중인 AMSC사의 5MW HTS Motor

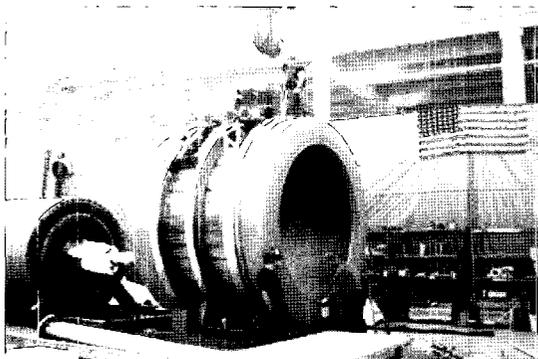


그림 3. AMSC사에서 조립중인 36.5MW 선박 추진용 모터

□ 독일

유럽에서는 SIEMENS사가 독일 정부의 BMBF(Ministry for Education and Research, 교육연구부)로부터 지원을 받아 2001년 그림 4에 나타낸 400kW 고온초전도 모터를 성공적으로 개발하였고, 현재는 그림 5에 나타나 있듯이 독립된 전력시스템인 선박 내에서 사용할 4MW 초전도 동기 발전기 개발을 진행 중이다. 4MW급 개발을 거쳐 2008년 최종적으로 16MW급개발을 목표로 하고 있다.

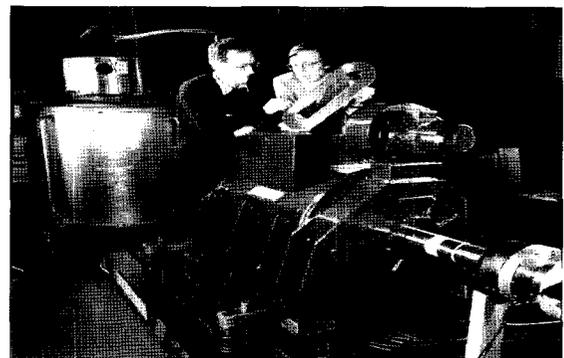


그림 4. Siemens사의 400kW/1500rpm 모델기

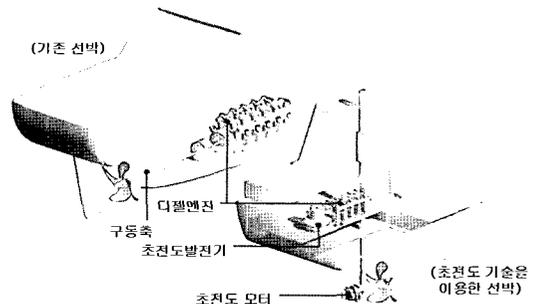


그림 5. 초전도기술을 선박에 적용한 예

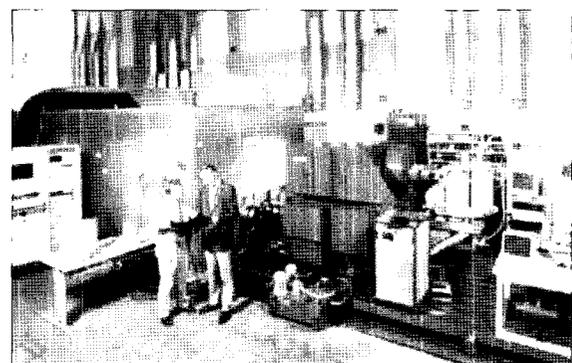


그림 6. Siemens사의 4MVA초전도 발전기 시험 장면

3. 우리나라의 개발현황

우리나라에서는 한국전기연구원과 두산중공업(주)이 공동으로 과학기술부의 『21세기 프론티어연구개발사업』의 일환으로 수행중인 “차세대초전도응용기술개발사업의 지원을 받아 2001년부터 시작된 1단계에서 100마력, 1800rpm 고온초전도 모터를 개발한데 이어 2004년부터 시작된 2단계에서 고속형의 1300마력 초전도 모터를 개발하였다.

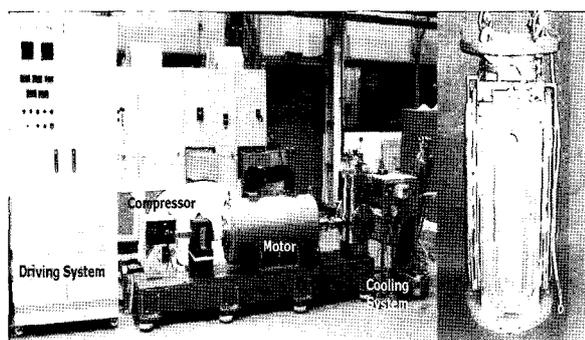


그림 7. DAPAS Program 1단계에서국내에서 개발한 100마력 초전도 모터

■ 개발현황

2007년 개발 완료한 고온초전도 모터는 3600rpm으로 고속 운전하는 방식으로 정격용량은 1300마력이며, 특히 대용량화 기술과 고속운전기술을 동시에 개발하여 대형화와 응용분야를 크게 넓힐 수 있다. 초전도모터의 핵심 부품인 고온초전도 코일의 설계, 보빈 제작, 권선, 냉각, 회전자 용기 및 공심형 전기자 제작 등의 대부분의 핵심 기술을 독자적으로 개발하였다.

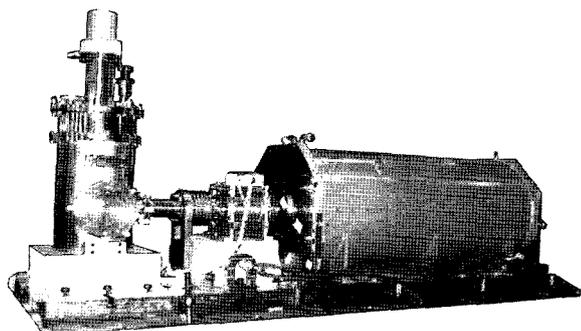


그림 8. DAPAS Program 2단계에서국내에서 개발한 1300마력 초전도 모터

협동연구기관인 두산중공업에서는 기존 고속회전기 핵심기술인 회전기동특성분석기술을 초전도 모터 설계 및 제작기술에 활용하여 본 기술개발이 가능하였으며, 전기연의 초전도응용기술과 두산중의 기존회전기기술을 융합하여 초전도 모터를 개발하는 원동력이 되었다.

특히 정지된 냉각시스템에서 3600rpm으로 돌고 있는 회전자 속으로 냉매를 계속 공급하는 기술과 전도냉각을 좋게 하기 위해 보빈과 냉매가 담기는 통을 하나로 만든 회전축의 개발 등은 매우 어려운 기술로서 세계적 수준의 기술이다.

■ 기술적 성과

용량 면에서는 2003년 미국 AMSC사의 6500마력급과 2001년 독일의 SIEMENS사의 500마력급 고온초전도모터에 이어 세계 2번째이다. 회전자와 전기자 모두 철심과 자성체를 사용하지 않은 완전한 공심형 초전도 모터는 세계최초이다. 그러나 선진기술국에 비해 10년 정도 늦게 시작하였으면서도 초전도응용기술 중 가장 난이도가 높은 이 분야에서 세계 최초로 회전자와 전기자 모두 철심과 자성체를 사용하지 않은 완전한 공심형 1300마력급 초전도 모터를 개발하였다는 점에서 의의가 크다.

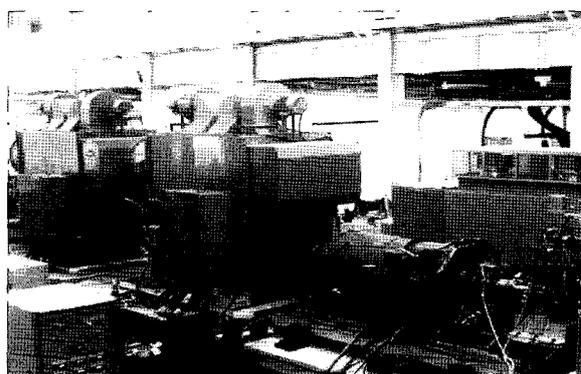


그림 9. DAPAS Program 1단계에서국내에서 개발한 1300마력 초전도 모터 시험장면

■ 경제, 산업적 파급효과

고온초전도모터가 본격 상용화되는 2010년 경의 세계 초기시장 규모는 약 20억불 규모로 예상되며, 현재(2002년 기준) 사용되고 있는 1000마력 이상의 산업용 모터들을 고온초전도 모터로 대체한다고 가정하면 연간 약 1억불 규모의 에너지 절약효과를 기대할 수 있다.

초전도모터와 같은 고효율 산업용 전력기기의 사용은 에너지 절약효과를 파생시키고 간접적으로 지구온난화의 주범인 CO₂ 배출가스를 줄일 수 있는 친환경적 파급효과도 가져온다.

4. 향후개발계획

이번에 개발한 1300마력급 모델기의 특성평가를 통하여 대용량화 핵심기술을 확보하여 향후 2011년까지 6,700마력급(5MW)의 저속 고온초전도 모터를 개발하여 전기추진선의 개발에 활용할 계획이며, 초전도모터의 상용화 시점으로 예상되는 2008년 이후 담수설비와 같은 산업현장에 실제 투입 예정이다.

또한 1300마력급 고온초전도 모터의 개발을 계기로 확보된 기술을 에너지절약 및 전력품질의 고효율화를 동시에 추구할 수 있는 초전도 발전기나 풍력발전용의 실용화기 개발 등으로 활용하여 연구성과를 극대화할 계획이다.

저자이력



권영길(權榮吉)
1959년 07월 18일생. 1982년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1990년:부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1992년 한국전기연구원 입원, 현재 초전도기기 연구그룹장.