

K-문샷 (초고온모터개발)

접수번호: A-1098

초고온(700°C) 작동 캔드모터 시스템 기술 개발

초고온(700°C) 환경에서 사용될 전기재료(권선의 재질, 함침재, 그리고 절연지)의 확보 또는 개발
초고온 전동기의 고정자와 로터의 형상 설계
초고온 환경에서 전기 재료의 성능 저하에 따른 전동기의 성능 설계
초고온 전동기 기계 설계기술 (고온 기계구조 및 열 설계, 마그네틱 베어링 또는 유체유막 베어링 설계)
초고온 근접센서 설계 및 제어기술 개발

7년(4+2+1)

- (1단계: 1~4년): 초고온 모터 전기적 형상 및 고온 기계구조 설계 기술 개발
 - (1) 고온 환경에서 전기재료의 전기적 특성 변화에 따른 모터의 토크-슬립 변화 분석
 - (2) 초고온 모터 성능 열화를 해결하기 위한 권선의 형상 설계
 - (3) 초고온 모터의 기계구조 설계 및 열 해석
 - (4) 초고온 마그네틱 베어링 설계
 - (5) 초고온 근접센서 및 제어기 설계
 - (6) 초고온 전동기 모형 설계 및 제작성 검토
 - (7) 초고온 전기재료를 적용한 모터 시제품 도면 제작

- (2단계: 5~6년): 초고온 모터 시제품 성능시험
 - (1) 초고온 모터 제작 기술 개발 및 시제품 제작
 - (2) 초고온 마그네틱 베어링 제작
 - (3) 초고온 근접센서 제작
 - (4) 초고온 모터 시제품 상온 성능시험 장치 개발
 - (5) 초고온 모터 시제품 상온 성능시험

- (3단계: 7): 초고온 원형 제작 및 시험
 - (1) 초고온 모터 원형 제작
 - (2) 초고온 모터 원형 고온 성능시험 시험절차 개발
 - (3) 초고온 모터 원형 고온 성능시험

문제 정의 및 필요성

- 해외 주요국 동향 및 기술 격차
 - (1) 미국: DOE의 지원으로 2023년 ORNL-UTK(Oak Ridge National Laboratory-University of Tennessee Knoxville)에서는 700°C에서 작동하는 초고온 모터를 개발하는 프로젝트 1단계 결과를 발표하였다.
 - (2) 덴마크: Copenhagen Atomics는 700°C에서 작동하는 모터를 개발하여 용융염을 펌핑하는 펌프로 사용하고 있다. 한국원자력연구원에서 수입하여 시험용으로 사용하고 있다.

□ 기술격차

미국과 덴마크는 초고온 모터에 사용될 마그네틱 베어링 개발을 완료하면 초고온 모터의 개발이 완료된다. 우리나라는 초고온 전기재료, 초고온 모터설계, 초고온 마그네틱 베어링 기술이 거의 없는 상황이다.

□ 해결되지 않은 문제

미국과 유럽에서는 초고온에서 사용할 수 있는 세라믹 코팅 동선(copper wire)을 개발하여 상용으로 판매를 하고 있다. 본인이 미국으로부터 초고온 동선을 구입하려고 하였으나, 한국에는 판매 금지 품목이라고 판매를 거절하였다. 국내는 초고온에 사용할 수 있는 동선 관련 제조 기술이 없으며, 초고온 작동 모터의 권선과 고정자 형상 개발을 시도한 적이 없다. 그리고 초고온 마그네틱 베어링과 고온용 근접센서 관련 기술이 없는 실정이다.

□ 왜 중요한가?

일반모터는 약 200°C 이하의 온도에서 작동한다. 모터의 작동 환경이 고온이 되면 모터 권선의 피복재 절연재가 파괴되어 전기적 성능을 잃어버린다. MSR(용융염 원자로)와 같이 초소형 원자로의 연료염펌프는 고온의 환경에서 작동하는 모터가 필요하기 때문에 고온용 모터의 개발은 반드시 필요하다. 파급 효과로는 i-SMR 원자로냉각재펌프에 고온용 모터를 적용할 경우에 열손실을 줄여서 원자로의 효율을 증가시킬 수 있다. 미국 DOE와 덴마크의 Copenhagen Atomics에서는 미래의 에너지 개발 장치에 필수 기기인 초고온 모터 개발에 재정적 지원을 하고 있다. (미국 DE-AR0000981 참조)

연구개발 내용

- (1) 미국과 유럽의 초고온 권선에 대한 전기적 특성과 제작성 분석
- (2) 초고온 환경에서 모터의 전기적 특성 분석
 - 전동기 전기적 등가회로의 변수를 조정하여 토크-슬립 특성을 조정
 - 고온에서의 기동토크와 정격토크 특성을 설계
- (3) 초고온 유도전동기의 권선의 형상과 고정자 권선의 형상 설계
 - 초고온 환경을 고려하여 권선의 전류-단면적 설계
 - 초고온 전동기 제작성을 고려한 단면 형상(원형, 사각단면) 결정
- (4) 초고온 유도전동기의 회전자 형상 설계
- (5) 상용 고온용 권선을 적용한 제작 가능한 초고온 모터 설계
- (6) 초고온 전동기 기계구조 및 열 해석
 - 유체유막 베어링 설계
 - 고온 구조물 기계구조 설계
 - 초고온 전동기 열 해석
- (7) 고온 작동 마그네틱 베어링 설계기술 개발
 - 초고온 마그네틱 베어링 관련 기술이 알려진 바가 없기 때문에 상온 관련 기술을 참조하여 초고온용 기술로 개발해 나아가는 하는 상황임
- (8) 고온 작동용 근접센서 및 제어 설계기술 개발
 - 초고온 근접센서 관련 기술도 마그네틱 베어링 설계기술 개발과 유사하게 상온 관련 기술을 참조하여 초고온용 근접센서 기술로 개발해 나아가야 하는 상황임
- (9) 초고온 유도전동기 성능시험장치 개발 및 성능시험
 - 초고온 유도전동기의 성능시험장치 온도 상승장치 개발
 - 초고온 유도전동기 성능시험 절차서 개발
- (10) 초고온 권선의 재질 개발 (본 프로젝트와 별도로 개발해야 되는 연구개발 내용으로 본 프로젝트에는 포

함시키지 않았으나 주지해야 할 사항이기 때문에 언급함. 본 프로젝트는 미국과 유럽에서 개발한 전기재료를 수입하여 사용함)

프로젝트 추진 전략

(1) 추진 방법론

본 프로젝트의 기술개발은 재료분야, 원자력 분야, 기계분야(설계와 신호분석), 그리고 전기분야(전동기 설계)의 지식을 요구하기 때문에 여러기관들이 협력하여 초고온 유도전동기를 개발하여야 한다. 본 프로젝트에서 초고온 전기재료 개발은 포함하지 않으며, 국외(미국, 유럽)에서 개발된 상용 권선을 이용한다. 본 프로젝트의 개발에 참여할 기관은 에너지파트너스(주), 부산대 전기전자공학부(또는 전기연구원), 한국원자력연구원이 참여할 예정이다. 에너지파트너스(주)는 전체 시스템 설계, 전기기계의 기계설계, 그리고 마그네트 베어링 제어를 위한 신호분석을 수행한다. 부산대 전기전자공학부에서 유도전동기 및 마그네트 베어링의 설계하며, 한국원자력연구원에서 원자력 관련 기술을 제공한다.

(2) 추진주체 및 각 역할

에너지파트너스(주): 부산대 전기전자공학부, 경상국립대학교 전기공학과, 전기연구원, 한국원자력연구원 각각의 기술을 종합하여 초고온 유도전동기 시스템 개발의 총괄을 수행한다. 또한 초고온 전동기의 기계구조와 열적 문제를 해결한다.

부산대 전기공학부: 참여 학교로서 초고온 전동기의 전기적 특성을 분석하고 초고온용 전동기에 적합한 권선과 고정자 형상을 개발한다. 캔드모터 유도전동기의 전기적 관련 문제 해결의 책임자의 역할을 한다.

한국원자력연구원: 참여 연구기관으로서 원자로계통과 초고온 전동기와의 연계된 설계기술을 개발하고 고온용 마그네트 베어링-근접센서 제어기술을 개발한다.

(3) 애로사항

현재까지 국내에서는 초고온용 전기재료(권선)이 없기 때문에 미국이나 유럽으로부터 초고온 권선을 수입해야 하며, 초고온 마그네트 베어링과 초고온 근접센서 관련 기술도 없는 상황이기 때문에 본 프로젝트를 성공적으로 완성할 지 여부는 현재로는 판단하기 어렵다. 1단계 4년 정도 진행된 후에 성공적인 수행을 위해 2단계와 3단계의 계획을 수정하여 진행하는 것을 권고한다.

활용방안

- (1) 국내에서 에너지 공급을 위한 i-SMR 원자로냉각재펌프와 MSR 연료염펌프에 활용
- (2) 미국과 유럽에서 개발하는 MSR 연료염펌프의 모터로 수출
- (3) 우주항공 및 핵융합로에서 사용되는 고온용 펌프에 활용
- (4) 국내 산업체에 사용되는 모든 회전기기에 무접촉 베어링인 마그네트 베어링에 적용하여 회전기기의 수명을 증가하여 산업체의 생산성을 향상시킴.
- (5) 국외 모든 회전기기의 무접촉 마그네트 베어링에 적용할 수 있도록 수출

과급효과

- (1) 초고온 모터 기술개발 완료시 2031년 국내 i-SMR 원자로냉각재펌프 시장 점유 100% 달성
- (2) 2033년 MSR 연료염펌프 초고온 모터 국내 시장 점유 100% 달성
- (3) 국내 일반 산업체 회전기기의 무접촉 마그네트 베어링 시장 점유 50% 달성
- (4) 국외 연료염펌프 초고온 모터 시장 수출 시장 50% 달성
- (5) 국외 회전기기의 무접촉 마그네트 베어링 시장 수출 50% 달성

예산 소요 추정

□ 총 47.3억

□ 1단계 4년: 19.8억

- (1) 초고온 전기재료 및 제어기 (1.5 억)
- (2) 초고온 전동기 모형 (2.3억)
- (3) 인건비 및 간접비 (16억)

□ 2단계: 15억

- (1) 초고온 전동기 시제품 (4.0억)
- (2) 초고온 마그네트 베어링 (2.6억)
- (3) 인건비 (8.4억)

□ 3단계: 12.5억

- (1) 원형제작 및 인건비