

하이퍼튜브의 추진·자기부상용 초전도 전자석 실험 모델에 대한 냉동기 분리 운전 성능 평가

Evaluation of Operation Performances for Experimental Superconducting Electromagnet Model for Propulsion and Magnetic Levitation of Hypertube Express (HTX)

이창영*[†], 임정열*, 이관섭*, 김석호**

Chang-young Lee*[†], Jung-youll Lim*, Kwan-Sub Lee*, Seok-ho Kim**

초 록 하이퍼튜브의 추진·부상용 차량 전자석으로 냉동기 분리형 고온 초전도 전자석을 개발 중에 있다. 본 연구에서는 하이퍼튜브용 고온 초전도 전자석 실험 모델을 제작하고, 냉동기 분리에 따른 운전성능을 평가하였다. 실험모델은 냉동기 분리 후 약 1시간 이상 초전도 성능을 유지하는 것을 목표로 설계하였다. 실험 모델에는 무절연 초전도 코일 제작기술, 영구전류모드 운전기술, 고화질소 냉각 기술이 적용되었다. 실험결과 목표했던 1시간 이상의 초전도 성능을 만족함을 확인하였으며, 냉동기 분리형 고온 초전도 전자석의 설계 타당성을 입증하였다.

주요어 : 하이퍼튜브, 초전도, 자기부상, 선형모터추진

1. 서 론

국내의 1000km/h급 하이퍼 튜브는 지상 1차 초전도 선형동기모터 추진 방식과 초전도 유도반발식자기부상기술로 개발되고 있다. 추진·부상용 차량 전자석으로 초전도 전자석을 이용할 경우, 영구자석이나 상전도 전자석에 비해 추력밀도가 클 뿐 아니라 부상 간격을 100 mm 이상 크게 할 수 있기 때문에 튜브 인프라 시공 정밀도를 완화시켜 건설비용을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 초전도 전자석을 운전하기 위해 냉각시스템의 차량 탑재가 불가피하고, 이 때문에 차량 중량과 요구전력량이 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하고자 차량에 냉각시스템을 탑재하지 않는 냉동기 분리형 초전도 전자석 기술을

개발 중에 있다. 본 연구에서는 냉동기 분리형 초전도 전자석의 설계 타당성을 검증하기 위하여 소형 초전도 전자석 실험모델을 제작하고, 실험모델의 냉동기 분리 운전 성능을 평가하였다.

2. 본 론

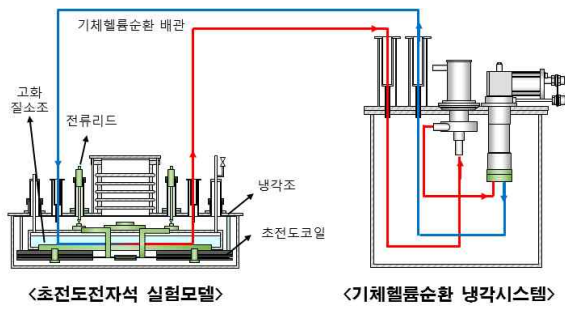
2.1 실험모델의 설계 및 제작

실험모델의 형상은 Fig. 1과 같다. 주요 구성품은 2극의 초전도 코일, 냉각조 및 내부 고체질소조, 냉각용 기체헬륨순환 배관, 전류리드로 구성되어 있다. 초전도 코일은 2세대 고온초전도선재(GdBCO)를 사용하며, 퀀치안정성을 높이기 위하여 무절연방식으로 제작하였다. 냉각조는 외부로부터 대류열과 복사열 침입을 차단하기 위하여 10^{-7} Torr 이하의 진공을 유지하고 복사 실드층을 두었다. 초전도 코일은 고화질소를 이용하여 전도냉각방식으로 냉각 시켰으며, 운전온도는 35 K 이하로 하였다. 실험모델은 외부에 기체헬륨순환냉각시스템을 이용하여 극저온

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 신교통혁신연구
구소(cylee@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 신교통혁신연구소

** 창원대학교 기계공학과



(a) Test configuration



(b) Fabrication

Fig. 1 Experimental superconducting electromagnet model

의 기체헬륨을 액체질소조로 순환시켜 액체질소를 고화질소조까지 냉각할 수 있도록 하였다. 실험모델에 대한 성능평가는 냉각시스템을 분리한 직후부터 초전도 전자석의 자기장 성능을 유지할 수 있는 최대온도까지 도달하는 시간을 측정하였으며, 본 실험모델에서는 고화질소의 상전이 온도인 35 K을 최대 허용 온도로 설정하였다.

온도 상승 시간의 지연을 관찰할 수 있었다. 따라서 향후 실제 모델 설계시 고화질소의 상변이 온도를 이용하여 전자석의 온도 상승 지연 시간을 충분히 확보할 수 있도록 고화질소의 용량을 조절한다면 냉동기 분리 후 초전도 전자석의 운전 시간을 충분히 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2.2 실험결과

3. 결론

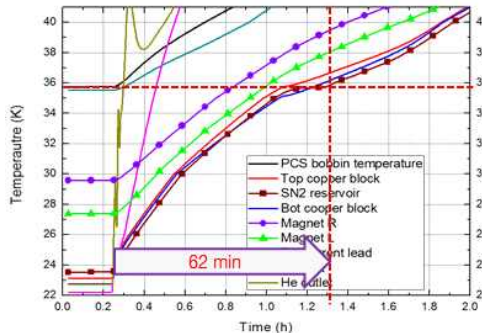


Fig. 2 Test result of experimental model

Fig. 2는 실험모델의 각 지점의 온도를 측정된 결과이다. 성능평가온도는 초전도 코일 표면을 기준으로 하였다. 초기 냉각온도는 24 K 으로 하였으며, 35 K까지의 도달 시간은 약 62분이 소요되어 실험모델의 초전도 코일에서 목표한 1시간 운전을 만족하는 성능을 보였다. 또한 고화질소의 상변이 온도인 35 K 에서 흡열반응에 의한

본 연구에서는 하이퍼튜브용 냉동기 분리형 고온 초전도 전자석 개발을 목적으로, 필요한 핵심 기술을 구현하고 설계 타당성을 검증하기 위하여 실험 모델을 제작·평가하였다. 실험결과 당초 설계한 냉동기 분리 운전 에 따른 초전도 전자석의 냉각 유지 시간 성능을 달성하였다. 실험모델에 적용된 주요 핵심 기술을 기반으로 하이퍼튜브용 시작품을 개발할 예정이다.

참고문헌

- [1] Thomas M. Flynn (2005) *Cryogenic Engineering*, CRC Press.
- [2] Yukikazu Iwasa (1994) *Case Studies in Superconducting Magnets - Design and Operational Issues*, Plenum Press.
- [3] Kaoru Nemoto, "HTS magnet for maglev applications-magnet structure and performance", IEEE transactions on applied superconductivity, Vol. 16(2006) : 1104 ~1107