

고온초전도체를 이용한 농형 유도전동기 특성시험

심정욱, 임형우, 차귀수
순천향대학교

Performance Evaluation of a Squirrel Cage Induction Motor
by Using the High Temperature Superconductor

Jungwook Sim, Hyoungwoo Lim, Guesoo Cha
Soonchunhyang University

Abstract - 고온 초전도체를 이용한 전력기기들은 변압기, 한류기 등의 정지기기의 형태와 회전기로서는 동기발전기, 벌크형 전동기, 동기전동기 등에 개발되고 있다. 이중 회전기에서 고온초전도를 이용한 유도전동기의 개발은 국내외적으로 미비한 실정이다. 본 논문에서는 고온초전도체를 이용한 농형유도전동기의 제작 및 시험을 통하여 기본특성을 확인하였다.

1. 서 론

유도전동기의 원리는 변압기와 마찬가지로 1차측에 해당하는 고정자권선에 전력을 공급하면 회전자계가 발생하여 이에 따른 유도작용으로 2차측에 해당하는 단락회로를 가지고 있는 회전자가 공극을 사이에 두고 기계적인 힘을 발생하게 된다. 기존의 농형 회전자의 회로는 철심으로 구성된 회전자 내측에 슬롯을 두고 알루미늄등으로 주조된 봉도체와 단락환으로 구성되어있다. 유도전동기의 정속도 특성은 일반적으로 회전자측 저항에 따라 결정되므로 이러한 회전자측 회로를 초전도체로 개선할 경우 회전자측 저항은 0이 되고 이에 따른 운전슬립과 효율의 특성은 우수하게 된다. 또한 동일한 용량에 대해 무게 및 부피를 줄일 수 있다[1]

2. 고온초전도 농형 유도전동기 설계 및 제작

고온초전도 농형 유도전동기의 고정자는 실험용 3상, 4극, 208V 1/4hp 농형 유도전동기를 사용하여 제작하였다. 이 유도전동기는 프레임 자체가 개방형이기 때문에 액체질소에서의 냉각효과가 좋다. 고정자 프레임의 외경은 160mm, 내경은 96mm이고 슬롯수는 36, 2중권, 정수슬롯이다. 실험에 사용된 전동기의 기존 사양은 표 1과 같다.

표 1. 기존 전동기의 사양

출 력	1/4hp	전 압	208V
정격전류	1.2A	전부하회전수	1670rpm
외 경	160mm	내 경	96mm
슬롯수	36	극 수	4

기존의 농형 회전자는 일반적으로 회전자 내측 슬롯안에 알루미늄으로 주조시켜 제작되지만 실험에 상용되는 전동기는 초전도체를 적용해야 하므로 회전자 슬롯을 고온초전도테이프의 크기에 맞추어서 설계하고 각 슬롯에 초전도선을 삽입하는 방식으로 하였다. 엔드링부분 역시 일반적으로 알루미늄으로 주조되지만 실험에 사용되는 회전자에는 엔드링 부분으로 10mm정도 철심을 늘리고

그 위에 각 슬롯에서 나온 초전도선을 전류용량이 좀더 큰 초전도선으로 접합하는 방식으로 하였다. 접합방식은 회전자 철심의 열용량이 큰 관계로 기존의 인두와 납으로 접합하기 어렵기 때문에 선재의 열화 등을 고려하여 인둠과 열풍기를 사용하여 짧은 시간동안 접합하였다. 그림 1과 그림 2는 고온초전도체를 적용한 회전자 구조와 제작된 회전자이다. 그림 1(a)의 상부그림은 회전자철심이고 하부그림은 엔드링철심이다.

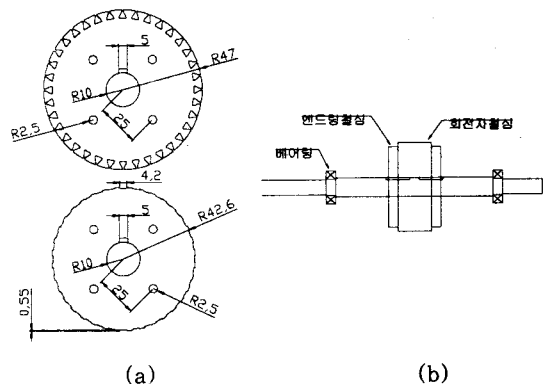


그림 1. 고온초전도 농형회전자 구조

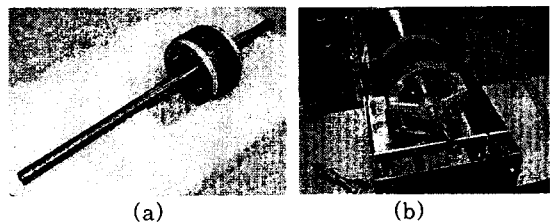


그림 2. 제작된 고온초전도 농형회전자 및 전동기

여기서 일반적인 소형 전동기에서는 공극이 0.3~0.5 mm정도로, 공극이 작을수록 여자전류가 감소하고 효율이 좋게 되지만 설계된 회전자에는 극저온이라는 극한 조건에서 기계적 뒤틀림 등을 고려하여 1mm정도로 결정하였다.

기존의 농형전동기의 고정자와 위와 같이 초전도체를 적용할 회전자를 기반으로 액체질소의 온도인 77K의 조건으로 회전자봉에 흐르는 전류를 계산한 결과 회전자도봉에는 50A, 엔드링에는 118A로 나왔다.

회전자에 설치한 고온초전도선은 Bi-2223 선재로 회전자 도봉과 엔드링의 전류에 차이가 있는 관계로 각각 I_c가 70A급 선재와 100A급 선재로 제작하였다. 여기서

접합 등의 문제를 고려하여 각각 두 가닥씩 사용하였다. 그림 3은 저온용기에 결합된 고온초전도 농형유도전동기와 전기동력계이다. 전동기의 축은 진동 등을 고려하여 최대한 짧게 제작하였다.

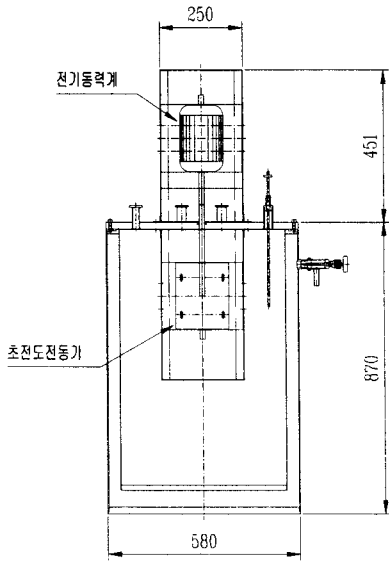


그림 3. 고온초전도 농형유도전동기 실험장치 구조

3. 특성실험 및 결과분석

특성실험은 무부하시험, 회전자 구속시험, 부하시험 그리고 무부하 및 부하 전전압 기동실험 등 4가지로 나누어서 수행하였고 기존의 1/4hp 농형유도전동기와 비교하여 실험하였다. 실험에서 전동기 자체를 액체 질소 속에 넣는 관계로 기존의 고정자 저항은 상온상태에 비해 대략 1/8수준으로 감소하게 되어 한 상당 1.2Ω으로 측정되었다.

3.1 무부하 시험 및 회전자 구속시험

무부하 가변실험은 무부하상태에서 전압을 80~208V 까지 20V씩 단계별로 증가시키면서 실험을 하였다. 그림 4는 무부하 실험에서 측정한 전류, 유효전력, 역률이다. 이 경우 각 전압에 대해 전동기의 속도는 1800 rpm을 유지하였다. 실험 결과 무부하 상태에서 208V를 인가하게되면 무부하손실은 약 76W가 발생한다. 여기서 식(1)을 이용하여 무부하 회전손실을 계산하면 동일한 조건의 기존 전동기의 무부하 회전손실은 19W인데 비해 초전도 전동기의 회전손실은 71.6W로 계산된다. 따라서 동손 및 철손을 제외한 대부분의 손실은 액체 질소 내에서 운전하는 이유로 발생하는 마찰손과 저온 용기와의 기계적인 뒤틀림 및 접촉마찰 등에 의한 손실로 볼 수 있다.

$$P_{rot} = P_{NL} - 3I^2R \quad (1)$$

표 2는 기존의 전동기와 초전도전동기의 무부하시험과 회전자 구속시험의 결과이다. 회전자 구속실험은 일반적으로 회전자를 구속시킨 상태에서 전부하전류에 근사한 전류를 인가해야 하는데 초전도전동기의 경우 초전도 회전자에 임계치 이상의 전류가 흘러 저항이 성장하게 되고 따라서 특성을 알아볼 수 없게 된다. 그러므로 최대한 회전자측 도봉에 임계전류 이하 값이 흐르도록 저전압을 인가하여 실험을 하였다.

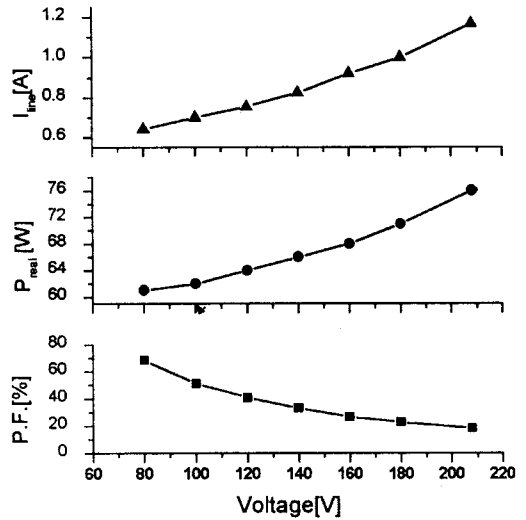


그림 4. 고온초전도 농형유도전동기의 무부하시험

표 2. 유도전동기 무부하 및 회전자 구속시험

	전압 [V]	전류 [A]	유효전력 [W]	무효전력 [var]	pf
기존의 전동기					
무부하	210	0.75	35	270	0.13
회전자구속	69	1.2	86	114	0.6
초전도전동기					
무부하	208	1.2	76	416	0.22
회전자구속	28.6	1.0	9	48.7	0.18

3.2 부하 시험

그림 5는 0~3Nm의 부하를 인가하면서 측정한 실험 결과이다. 인가전압은 208V이고, 선전류는 2A일 때 유효전력은 525W로 기존의 1/4hp의 전동기와 동일한 조건으로 볼 때 출력이 증가됨을 알 수 있다.

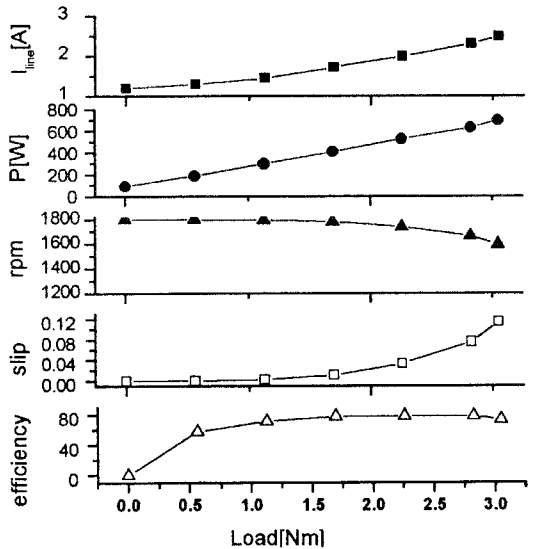


그림 5. 고온초전도농형유도전동기 부하시험

그림 6을 보면 부하 변동에 따라 기존의 전동기에 비해 속도의 변화가 적은 것은 운전슬립이 낮다는 것을 의미한다. 여기서 정격부하를 보게되면 기존의 전동기의 경우 약 1Nm인데 반하여 초전도 전동기의 경우

2.3Nm로 두 배 이상의 부하를 인가할 수 있다. 그림 7은 효율을 비교한 그림으로 기존의 전동기에 비해 효율이 약 24%정도 우수함을 알 수 있다. 그림 8은 역율을 비교한 그림이다. 여기서보면 초전도유도전동기가 기존의 전동기에 비해 역율이 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것은 초전도 유도전동기가 기존의 유도전동기에 비해 공극이 큰 관계로 여자전류가 크고, 회전자측 저항이 작기 때문으로 볼 수 있다.

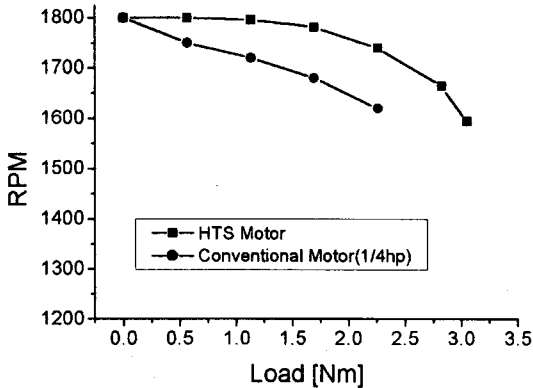


그림 6. 기존전동기와 초전도전동기의 속도비교

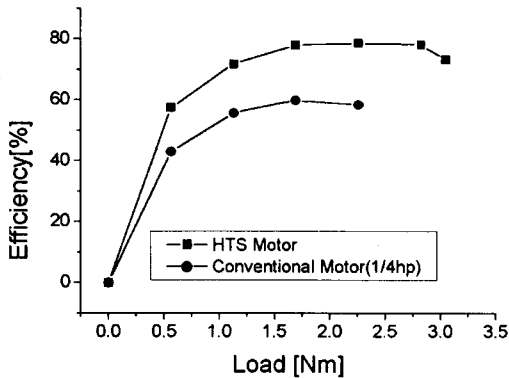


그림 7. 기존전동기와 초전도전동기의 효율비교

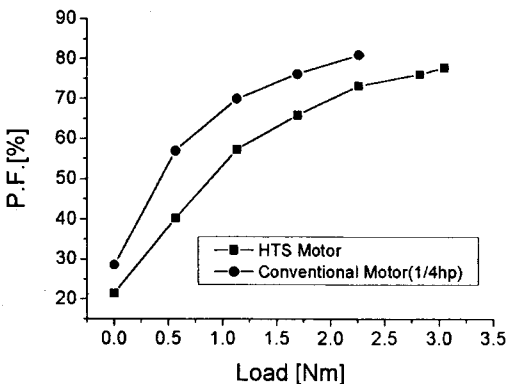


그림 8. 기존전동기와 초전도전동기의 역률비교

3.2 무부하 및 부하 전전압 기동

농형 유도전동기에서는 전전압 기동시 고정자측 기동 전류가 매우 큰 단점이 있다. 그러나 5kW이하의 적은 용량의 유도전동기의 경우는 전부하 전류의 400~600%의 기동전류가 흐르나 용량이 적은 관계로 전류의 값도 적고 배전계통에 대한 영향도 적다. 그림 9와 10은 무부하 및 부하 전전압 기동시 시간에 따른 전류의 과도현상을 나타낸 그림이다. 그림 9를 보면 무부하 전전압 기동시 약 0.23sec만에 정격 속도에 도달하였다. 그림 10은 관성모멘트가 0.026kg·m²인 플라이 휠을 부하로 회전자 측에 연결하고 전전압 기동을 하였고 이 경우 약 1.6sec만에 정격 속도에 도달하였다. 여기서 무부하 및 부하 기동전류는 정상상태에 비해 약 6~7배 정도 증가하였다.

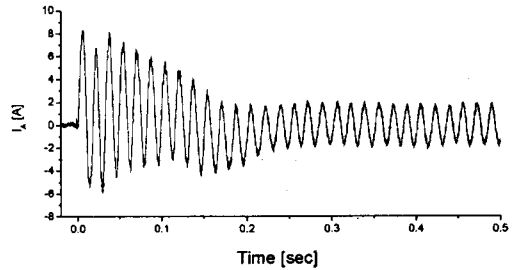


그림 9. 무부하 전전압 기동

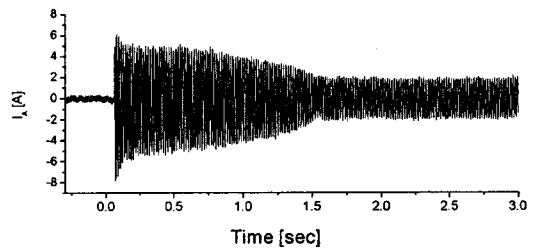


그림 10. 부하 전전압 기동
플라이휠 관성모멘트 : 0.026(kg·m²)

4. 결 론

본 논문에는 1/4hp 농형유도전동기의 회전자를 초전도 농형 회전자로 바꾸어 실험을 하였다. 실험결과 기기의 크기에 비해 출력은 525W로 기존의 전동기에 비해 65% 증가하였고, 운전효율은 24% 증가함을 확인하였다. 또한 운전슬립 역시 기존의 전동기에 비해 향상됨을 확인하였다.

본 연구는 기초전력공학 공동연구소의 지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.D. Edick and R.F. Schiferl, "High Temperature Superconductivity Applied to Electric Motors," *IEEE Trans. AS*, Vol.2, No.4, pp.189-193, 1992