

15kW, 120,000rpm 영구자석 전동기 시스템의 기구 설계

우병철*, 홍도관, 구대현, 최유영**, 조정구^, 이시우^^, 이기호#, 홍승수##
 한국전기연구원*,키네모션**,그린파워^, 진솔터보^^, 터보맥스#, 코아스틸##

Mechanical design of 120,000rpm, 15kW Permanent Magnet High Speed Motor

Byung-chul Woo, Do-kwan Hong, Dae-hyun Koo, Yoo-young Choi, Jung-koo Cho, Si-woo Lee, Ki-ho Lee, Sung-su Hong
 Korean ELeCtrotechnology Research Institute, Kinemotion, Green-power, Jinsol-turbo, Turbo-max, Core steel

Abstract - 초고속 전동기는 일반적인 회전수를 초고속 전동기로서 기존 전동기보다 여러 가지 장점을 가지고 있어 그 수요가 늘어나고 있는 실정이다. 본 논문에서는 15 [kW], 120,000 [rpm]의 초고속 전동기를 제작하기 위한 기초설계단계에서 계산된 내용과 형상을 알아보고 그 가능성을 타진해 본 내용이다. 본 연구에서는 영구자석을 사용한 초고속 전동기로서 해석과 설계과정을 거치면서 로터의 직경을 계산하고 구동 드라이버설계제작 및 사용할 영구자석과 코어를 제작하여 고속 전동기를 제작하고 제작된 전동기를 조립하여 그 특성을 평가하는 순서로 개발을 완료하고자 하였다. 본 논문에서는 이러한 내용 중 FEM 설계 과정을 소개하고 그 가능성에 대해서 알아보았다.

1. 서 론

일반적으로 고속 전동기는 회전수가 2극기의 경우 3600 [rpm]을 초과하는 경우를 말하며 산업계에서 사용하고 있는 고속 전동기는 회전수가 2,000-240,000 [rpm]의 범위가 고속 전동기가 해당된다. 그러나 대부분의 고속, 초고속기는 일반 산업용 전동기를 사용하면서 전동기의 뒷단에 증속기어를 사용하여 회전수를 높인 경우가 일반적이다. 일반적인 고속 시스템의 경우 증속기에서 발생하는 소음, 효율저감, 중량, 기어오일의 tribology 특성과 추가 장치로 인한 부피증가 등의 많은 단점을 가지고 있다. 초고속을 요구하는 기기의 동력원이 기어없이 고속화된다면 기존의 단점을 보완할 수 있을뿐만 아니라 소형, 경량, 저소음, 고신뢰성을 얻을 수 있어 현재 선진국에서는 초고속전동기를 개발하여 기존의 고속 시스템을 대체하고 있는 실정이다. 이러한 고속전동기를 개발하여 기존의 고속시스템에 대체한다면 기기 자체가 소형, 경량화 될뿐만 아니라 고속운전이 가능하므로 시스템의 소형화와 경량화 및 고효율과 가능할 뿐만 아니라 유지보수작업이 없어도 된다.

본 연구에서는 고주파용 자성강인 20PNHF1500 저손률특성을 가지는 코어를 사용하여 설계하였으며 사용할 영구자석은 MAGTOPIA S30B SmCo를 사용하여 전동기를 제작하고자 하였다. 일반적으로 초고속 전동기의 주파수로 높아짐에 따라 동손보다는 철손의 비중이 높아지고 특히 Eddy Current loss성분이 급격하게 커지게 되어 두께가 얇은 박판의 코어를 사용하는 것이 일반적으로 본 연구에서는 0.2t의 코어를 사용하고 설계하였으며 비정질 합금강의 성능도 평가할 예정이다.

2. 본 론

2.1 고속전동기 설계

초고속 전동기의 설계과정은 다음 그림 1과 같은 과정을 거쳐 설계, 제작, 시험을 수행하고 있으며 60,000 [rpm] 초고속 전동기를 제작하여 시험과정까지 진행하였다. 또한 120,000 [rpm]급의 초고속 전동기는 설계과정을 거쳐 제작 중에 있으며 기본적인 설계사양을 검토하였다. 먼저 FEM 해석/설계과정에서 Maxwell, RMXprt, Speed 등을 이용하여 전동기의 사양과 특성을 평가하고 Maxwell-Simplorer를 이용하여 전동기의 제어기 특성을 알아보았다. 또한 초고속 전동기의 제어기 제작과 센서리스 드라이버는 30 [kHz]의 구동주파수를 가지는 TMS320C6711 기반의 고성능 DSP 보드를 사용하여 제작하였다. 제어기에서는 출력단의 LC필터적용문제, PMSM 고성능 센서리스 제어 알고리즘 확보, 고주파에서 손실을 최소화 할 수 있는 고성능 코어사용 등의 문제를 해결하기 위해서 다양한 기법을 적용하고 있다.

설계된 형상을 제작하기 위해서 0.2t 코어를 선정하고 적층방법에 따른 특성변화, 여러 층의 마그넷을 분할 제작함에 따른 특성개선, 회전축의 강도문제와 도전율에 따른 로터의 손실문제 등도 다양한 방법을 적용하여 개선하여야 고성능을 초고속전동기가 제작될 수 있다. 본 연구에서는 인코넬을 사용하여 제작하였고 두께에 따른 강도를 계산하고 회전에 따른 굽힘강성을 계산하여 최적의 조건으로 설계하였다.

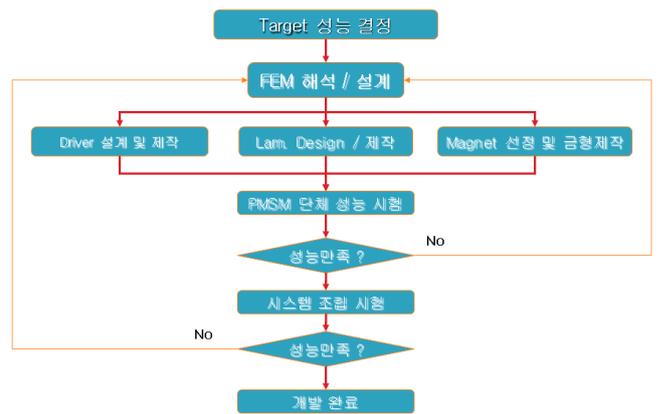


그림 1 초고속 전동기의 설계, 제작, 시험 과정

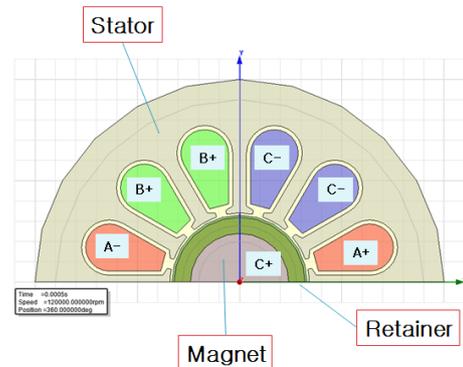


그림 2 초고속 전동기의 형상과 구성

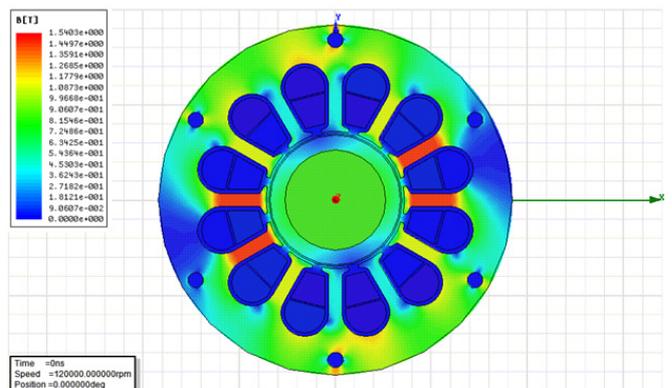


그림 3 초고속 전동기의 Magnetic Flux Density

그림 2는 본 연구에서 설계된 120,000rpm급 초고속 전동기의 구성을 나타내고 있으며 그림 3은 Magnetic flux density를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 초고속 구동 시 발생하는 손실을 줄이기 위해서 1.5 [T] 이하로 설계하였으며 치사에 일부에서 1.5 [T]를 넘고 있음을 확인할 수 있었다. 고속으로 구동되면 뒤틀수록 동손의 비중은 줄어들고 철손의 비중이 커기 때문에 자속밀도를 낮출 수 있게 하였으며 여러 형상에 대해서 해석하고 최적모델로 선정하였다.

2.2 로터의 열박음

회전기의 로터는 일반적으로 열박음으로 제작하고 있으며 온도에 따른 영향이 클 경우 액체질소에 냉각하는 방법도 이용하고 있으나 300도 이하에서 적용이 가능할 경우 온간으로 CAN를 가열한 다음 열박음하여도 큰 문제가 없는 것으로 알려져 있다. 다음 그림은 열박음의 최적조건을 알아보기 위해서 열응력해석을 수행한 결과로서 열박음의 공차로 인해서 발생하는 압축잔류응력을 원심력에 견딜 수 있게 설계에 적용하였다.

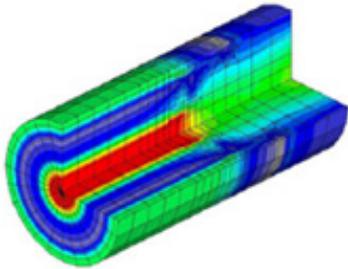


그림 4 초고속전동기용 로터의 열박음 강도해석

2.3 초고속전동기용 Air foil bearing

고속회전기의 로터와 stator 사이의 정확한 공극을 유지하고 로터를 진동없이 지지해 주는 부분이 베어링이다. 고속회전체의 경우 일반적인 볼 베어링을 사용한다면 고속으로 인해 열이 발생하고 이로 인해서 내구성을 보장할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 마그네틱 베어링과 공기 베어링이 사용되고 있는 실정이며 다소 가격이 높은 마그네틱 베어링에 비해서 공기베어링은 저가에 제작이 가능한 장점으로 인해서 일반적인 고속회전체의 경우 많이 적용하고 있는 실정이다. 그러나 정확한 공극유지 및 열처리기술은 일반적으로 쉽게 적용이 가능한 기술이 아니라 국내에서도 몇 군데에서만 공기베어링을 제작, 적용할 수 있는 기술을 가지고 있다.

본 연구에서는 로터를 지지해 주는 역할을 하는 저널베어링과 로터의 부하에 따라 축방향으로 발생하는 변위를 지지해 주는 스텐더 베어링을 적용하였고 그림 5에 공기베어링의 형상을 나타내었다.

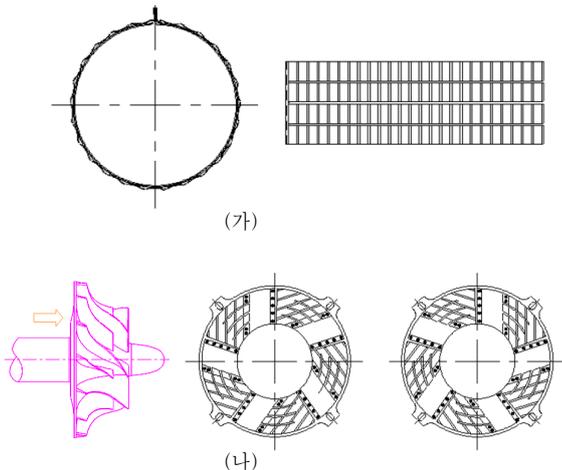


그림 5 초고속전동기용 air foil bearing의 형상과 구성
(가) 저널베어링 (나) 스텐더 베어링

본 연구에서는 25 [mm] 저널베어링을 사용하였고 외경이 52 [mm]인 스텐더 베어링을 적용하였다.

2.4 초고속전동기용 로터의 구성과 위험속도

일반적인 고속회전기의 경우 로터의 굽힘모드가 가장 큰 문제를 야기

하므로 필수적으로 해석되어야 한다. 본 연구에서 캠벨선도를 통해서 굽힘모드 해석을 진행하였고 축의 위험속도를 산정하였다.

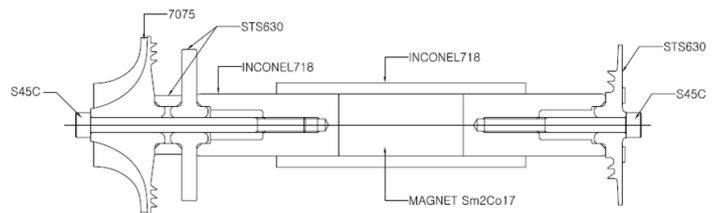


그림 6 고속전동기용 로터지부와 조립형상

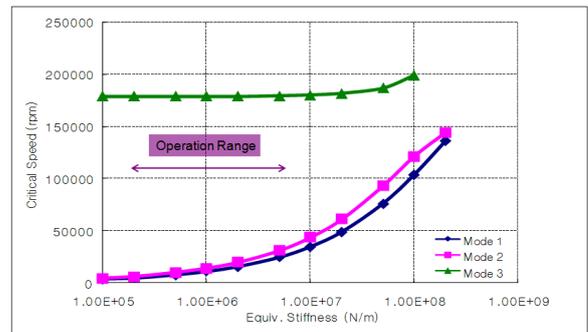


그림 7 베어링 강성에 따른 고속전동기 로터의 위험속도

그림 7은 베어링 강성에 따른 1-2차에서의 강체모드와 3차 유연체모드의 위험속도 변화를 나타내며 120,000 [rpm]에서 구동되더라도 굽힘모드가 발생하는 180,000 [rpm]과는 60,000 [rpm]의 충분한 분리여유를 가지며 안전한 로터의 설계가 되었다고 판단된다.

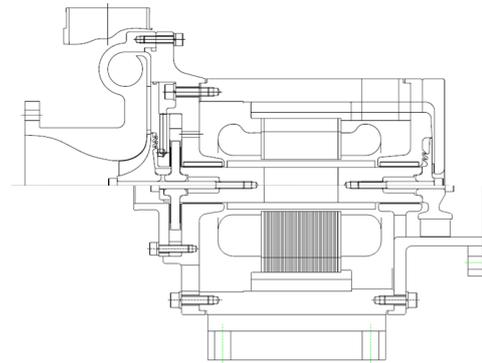


그림 8 120,000 rpm 초고속 전동기의 제작 설계형상

3. 결 론

연료전지 연료 개질기용으로 air blower를 사용하고 있으며 1 [kW]의 경우 산소는 분당 40 리터가 필요하며 100 [kW]급의 연료전지 자동차를 고려한다면 분당 4 [m³]의 air가 필요하게 되어 산소를 공급하기 위한 초고속 전동기 필수적으로 필요하게 된다.

본 연구에서는 15 [kW], 120,000 [rpm]급의 초고속 전동기를 적용하여 연료전지 air blower를 개발하고자 하며 초고속 구동을 위한 전자계해석, 강도해석, 로터의 베어링설계, 로터의 열박음량 산정, 로터의 위험속도 등을 파악하였으며 이러한 설계과정을 거쳐 초고속 전동기를 제작하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 우병철, 120,000rpm 15kW 초고속 전동기를 위한 기초설계, 전기학회학계학술대회, 2009
- [2] 특허청, 고속전동기 특허동향 분석 보고서, 특허청, 2007
- [3] Jannifer Gangi, Fuel Cells in Transportations, Hydrogen Technology Forum, Washingtons DC, 2004
- [4] Brian D. James, George N. Baum and Ira F. Kuhn, Jr., Techonlogy Development Goals For Automotive Feul Cell Powr Systems,, Fuel Cells in Trasportaion, 1994