

신 자성재질을 통한 영구자석형 전동기의 설계 및 소형화 방안

김충식, 원성홍, 이주
한양대학교 전기공학과 에너지변환 연구실

Design and Small-sized Frame of The Permanent Magnet Motor from New Material of Magnetic

Choong Sik Kim, Sung Hong Won, Ju Lee
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

Abstract - Industrialization and technique consequently in quick development the motor field small size and light weight, high efficiency and highly energy density in necessity. The permanent magnet motor small size and the research regarding the research of the torque and efficiency is coming to be active. From this paper the research regarding the quality permanent magnet motor and analysis and it was developed recently the NdFeB anisotropic bond magnet which is a high magnetic force material use, from the hazard which accomplishes power density it is high permanent magnet motor of small size and light weight it researched. The Finite Element Method it led and motor optimization. Also the experiment and analysis permanent magnet motor it is improved the motor and result it led and different it compared.

1. 서 론

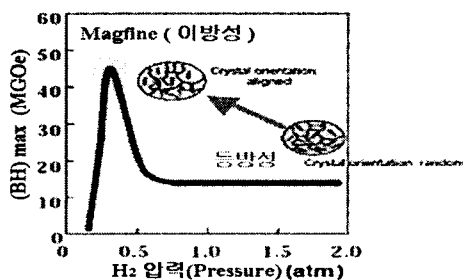
산업화와 기술의 급속한 발전에 따라서 전동기분야는 소형, 경량, 고 효율화 되고 있고 산업기기 내부의 전자, 컴퓨터화에 대해 증대한 역할이 요구 되어 짐으로써 소형, 경량화 된 고성능의 모터 개발에 대한 기대는 고 에너지 밀도를 갖는 자성재료의 필요성으로 이어져 왔다. 최근에는 Toyota Group Aichi Steel에서 개발한 고 에너지를 갖는 NdFeB 이방성 본드자석(Magfine)은 25MGOe의 높은 자력을 달성하게 되었다. 이런 신 자성재료의 대두로 인하여 위에서 말한 전동기의 발전방향에 긍정적 요소로 작용하게 되었고, 특히 근래 자동차분야의 발전에 의한 Hybrid화에 기인되어 영구자석 전동기가 크게 대두되고 있으며, 이와 동시에 영구자석 전동기의 소형화 와 토크, 효율의 개선에 관한 연구가 활발해 지고 있다.

본 연구에서는 Toyota Group Aichi Steel에서 개발한 고 에너지를 갖는 NdFeB 이방성 본드자석의 높은 자기력이 사용된 영구자석 전동기의 해석 과 고출력 밀도를 구현하기 위해서 소형, 경량화한 영구자석 전동기의 연구 를 수행하였다. 유한 요소법(Finite Element Method)을 통하여 전동기를 최적 화 하였고 개선된 영구자석 전동기의 실험과 분석을 통하여 타 자성재질이 사용된 전동기와 결과를 비교, 고찰 하였다. 해석모델은 300W모델을 채택하였고, 실험모델 전동기는 각각 50, 90, 120W의 전동기들로 선정하였다.

2. 본 론

2.1 자성 재료의 특성

NdFeB 이방성 본드자석은 25MGOe의 자기력 및 150°C의 열 저항성을 갖고 있다. 그 이전에 등방성 본드자석이 이미 존재해 왔으나, 등방성 본드 자석은 자기적 성질이 취약하다는 단점 때문에 전동기 및 기기를 Compact 화하는 데 있어서 다소 불리함을 갖고 있었다. 그러나 이방성 자석분말을 정밀한 결정구조로 만드는 새로운 생산법인 d-HDDR법이 Aichi Steel에 의 해 개발되면서 자석의 고 에너지화와 더불어 영구자석 전동기의 소형, 경량 화 및 고 성능화가 가능하게 되었다.

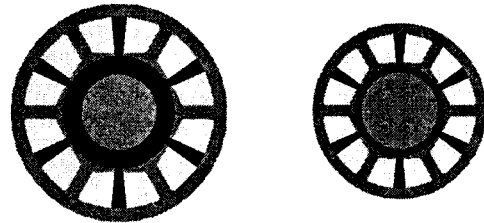


<그림 1> d-HDDR 공정

2.2 해석

2.2.1 해석모델

본 연구에서 사용된 해석 모델은 BLDC(Brushless DC)전동기로 채택하 였고, 비교해석을 위한 정격은 300W로 동일한 조건에서 각각의 타입을 달 리하여 Ferrite 소결자석이 사용된 4극 전동기와 NdFeB 이방성 본드자석 이 사용된 4극 전동기로 구성, 해석을 실시하였다. 착자는 전자의 모델에 평행 방향, 후자의 모델에는 극 이방으로 하였다.



<그림 2> Ferrite 소결 자석사용 모델과 NdFeB 이방성 본드 자석사용 모델

위 해석모델의 유용한 비교를 위해 구조적으로 철심 및 Airgap은 동일한 고정파라미터로 하였다. 그 결과 NdFeB 이방성 본드자석모델의 사이즈 및 영구자석의 두께가 감소되었다. 이는 25MGOe의 높은 에너지로 인하여 영구자석의 체적이 감소됨을 식(1)에서 확인할 수 있으며,

$$B_m H_m = \frac{B_g H_g A_g l_g}{A_m l_m} = \frac{2 W_g}{V_m} \quad (1)$$

V_m : 영구자석체적 W_g : airgap에 저장된 자기에너지

$$\frac{C_r + w_p}{R_{so}} = \frac{2}{5} \sim \frac{13}{20} \quad (2)$$

C_r : 철심반경 w_p : 영구자석 두께 R_{so} : stator반경

두 해석모델의 Size는 위 식(2)를 통한 BLDCM의 Size 설계조건에서 Stator 반경에 대한 Rotor반경(철심반경+영구자석 두께)의 비율을 2/5에서 13/20의 사이의 한 비율로 선정하고 두 모델의 rotor의 철심반경과 공극길 이를 고정하면 위 식(1)에서 알 수 있듯이 NdFeB 이방성 본드자석을 사용 한 모델의 w_p 의 감소로 인해 R_{so} 의 값도 같은 비율로 감소시킬 수 있다.

다음 식(3)에서 공극 및 슬롯 수, 극수를 고정하였을 때, Rotor반경의 감소 로 인한 Stator yoke의 폭과 치 폭이 감소됨을 나타내었다.

$$w_{tb} = \frac{2\pi R_{ro} B_g}{N_s K_{st} B_t}, \quad w_{sy} = \frac{\pi R_{ro} B_g}{N_m K_{st} B_{sy}} \quad (3)$$

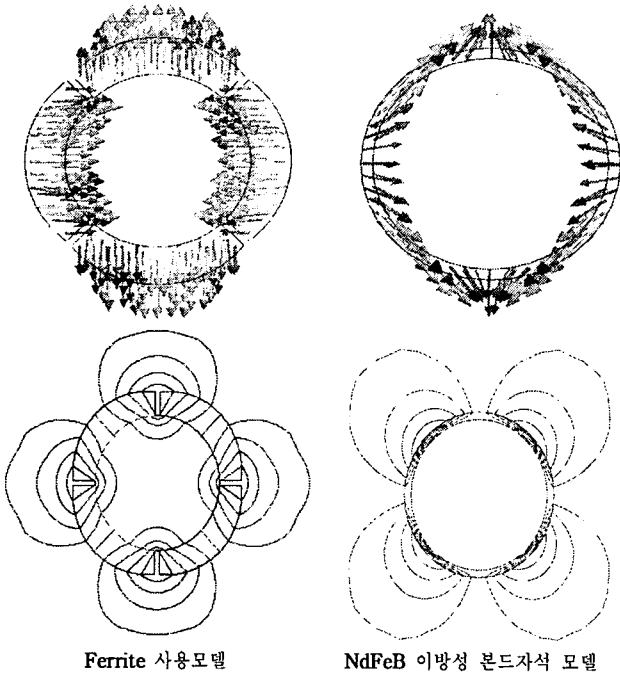
$$A_s = \frac{\pi}{N_s} [(R_{so} - w_{sy})^2 - (R_{ro} + g + d_{sh})^2] - w_{tb}(R_{so} - w_{sy} - R_{ro} - g - d_{sh}) \quad (4)$$

A_s : 슬롯권선유효면적, w_{sy} : stator yoke 폭, w_{tb} : 치폭, d_{sh} : shoe폭 N_m : 극수, N_s : 슬롯 수, g : 공극길이

식(4)를 통하여 위에서 감소된 Stator 반경, Rotor반경, 치폭, Stator yoke 폭 등의 감소된 값과 고정된 값을 대입하면 A_s 의 값도 비교모델보다 감소 하게 된다. 결과적으로 강한 자력의 영구자석을 선정함으로써 전동기의 소 형화 및 경량화 할 수 있게 된다.

2.3 해석결과

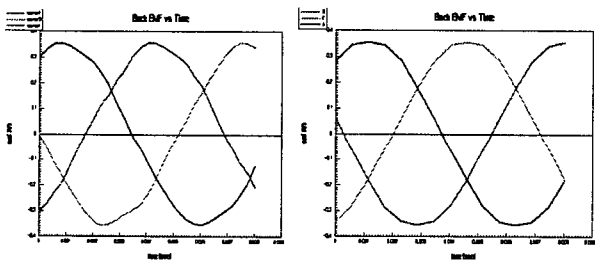
2.3.1 해석결과 1



〈그림 3〉 해석모델의 착자패턴 및 Flux Line

위 그림은 두 해석모델의 영구자석 착자패턴 및 두 모델의 Flux line이다. 해석프로그램인 Maxwell을 통해서 두 비교재료의 데이터 및 착자 특성을 입력하여 ferrite모델의 평행 착자(좌), NdFeB 이방성 모델의 극 이방착자(우)를 구현하였다.

2.3.2 해석결과 2



Ferrite 사용모델 역 기전력 NdFeB 이방성모델 역 기전력

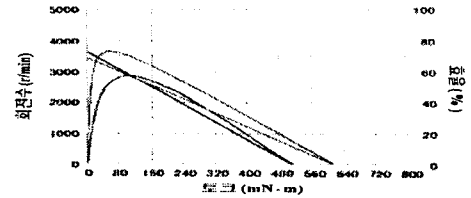
〈그림 4〉 역 기전력(Back emf)

해석결과 NdFeB 이방성 본드자석을 사용한 모델의 전동기 사이즈와 영구자석 량의 감소에도 불구하고 동일 역기전력 레벨이 확인됨으로써 신소재 재료의 사용으로 소형화에 의한 전동기의 고출력 밀도 구현을 해석을 통해서 확인하였다.

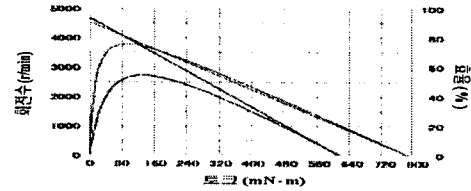
2.4 실험 결과

실험은 Aichi Steel의 자동차용 50, 90, 120W의 전동기의 실험데이터를 참고하였고, 이를 분석함으로써 위의 해석과 이론을 통한 분석을 토대로 경량화, 고 출력 밀도를 확인하고자 하였다. 세부 실험조건은 각 정격별 3가지의 비교실험을 실시하고 실험모델의 조건은 각 정격에 대한 2극 Ferrite 소결자석이 사용된 모델과 4극 NdFeB 이방성 본드자석이 사용된 모델로 하였다.

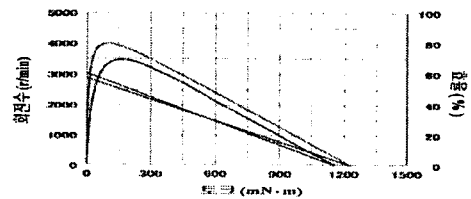
실험의 결과는 본 연구의 취지에 부합되는 경량화 및 고성능화의 확인에 초점을 두어 회전에 따른 토크와 효율, 출력과 면적의 관계에 대해서 나타내었다.



〈그림 5〉 50W모델 실험



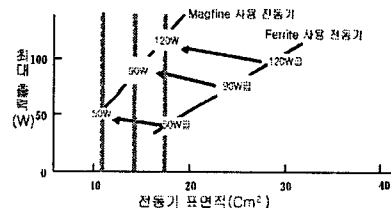
〈그림 6〉 90W모델 실험



〈그림 7〉 120W모델 실험

위의 그림은 50W, 90W, 120W의 각각의 두 비교 모델의 실험결과이다. 회전에 따른 토크 및 효율의 관계를 분석해 보면 동일 토크에서 NdFeB 이방성 본드자석을 사용한 모델이 빠른 회전과 높은 효율의 특성을 보임을 알 수 있다. 세부 결과분석을 해보면 50W는 토크 약 20%, 최대효율 약 15% 정도, 90W의 경우 토크 약 25%, 최대효율 약 20% 정도, 120W는 토크 약 6%, 최대효율 약 10% 정도로 비교 모델보다 증가함을 확인하였다.

〈그림 8〉은 위의 측정결과를 토대로 비교 모델과의 출력에 대한 소형, 경량화의 추이를 전체적으로 나타낸 그림이다.



〈그림 8〉 출력에 대한 전동기 경량화

위 그림에서 살펴볼 수 있듯이 전체적으로 Ferrite사용 전동기보다 NdFeB 이방성 본드자석의 높은 자력을 사용한 전동기가 동일 출력에서 소형경량화에 유리함을 알 수 있다. 즉, 위 결과 데이터를 살펴보면 동등성능의 조건에서 비교해 보았을 때 약 40%에서50% 정도의 소형 경량화를 달성할 수 있다.

3. 결 론

본 연구를 수행하기 위하여 유한요소해석을 하였고 비교모델의 해석결과를 분석함으로써 제시한 NdFeB 이방성 본드자석사용 모델의 고출력밀도 구현을 확인하였다. 실험에서는 3가지 동일 정격의 조건으로 나누어 실험을 수행하여 그 결과를 분석하고 데이터화 하였다. 전체적인 결과데이터의 추이를 분석한 것과 해석의 고찰을 통해서 신 자성재료인 NdFeB 이방성 본드자석을 통한 소형, 경량화의 실제적인 가능성을 입증하였다.

향후, 산업기술의 집약적인 발달과 초소형화의 흐름에 부합할 수 있으며, 특히 자동차산업의 Hybrid화에 요구되어 지는 고성능 소형기기의 필요성에도 기여할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Aichi Steel Corporation 'Magfine' 기술자료
- [2] Duane Hanselman "Brushless Permanent Magnet Motor Design" p203
- [3] 신현훈, "PWM 방식에 따른 브러시리스 직류 전동기의 특성 해석" 한양대학교 석사학위 논문 2004년 2월
- [4] 신현훈, 김태형, 김현우, 이성규, 이 주, "Characteristics Analysis of BLDC Motor According to PWM mode Using Finite Element Analysis" 2003년 대한전기학회 춘계학술대회 논문집