

축방향 이중 회전자 브러시리스 직류 모터의 설계 변수 특성

\*김재용      홍선기      강태삼  
호서대학교 전기전자제어공학부

Design Parameter Characteristics of Axial Type Double Rotor Brushless DC Motor

\*Jae-Yong Kim      Sun-Ki Hong      Tae-Sam Kang  
School of Electrical Eng., Hoseo University

**Abstract** - In this paper, axial type double rotor brushless DC motor is designed where the rotor is located at the both sides of stator. The rotor uses rare-earth magnets of 16 poles and the stator has 12 coils. The genetic algorithm is used to optimize the efficiency of the designed motor. The characteristics of the design parameters are estimated by varying them for the maximum efficiency.

1. 서론

브러시리스 DC 모터는 산업계 뿐 만 아니라 가전 제품에 이르기까지 매우 광범위하게 이용되고 있는 모터 중에 하나이다[1]. 브러시리스 DC 모터는 크게 반경방향 모터와 축방향 모터로 나뉘어지는데, 반경 방향 모터는 고정자 코어의 슬롯에 권선을 하며, 코일 엔드 등으로 인해 축방향으로 길이가 길어지게 된다. 축방향 모터는 코어리스(coreless)인 경우가 많으며, 보통 삼각형의 코일을 축방향에 수직하게 배치하게 되고, 여기에 평행하게 자석이 놓이게 되어 축방향 길이가 작게 되는 특징이 있어[2], 소형 카세트 플레이어, VCR 등 작은 부피가 요구되는데 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 이중 회전자 구조를 갖는 축방향 모터의 설계 변수 특성을 보였는데, 이중 회전자 구조의 모터는 상하 대칭 구조를 갖고 있어 회전 특성이 원활하다는 장점이 있다. 이때, 축방향 모터는 보통 고정자에 코어가 없으므로, 코일 부분이 공극으로 작용하여 공극 자속밀도가 약해지기 쉽다[3,4].

본 연구에서는 회토티 자석을 사용하여 자속밀도를 높이고 있으며, 모터의 효율을 높이기 위한 여러 가지 방법에 대해 연구 하였다. 또한, 설계 기법은 유전 알고리즘[5]을 이용하였고, 효율이 최대가 되도록 목적 함수를 선택하였다.

2. 구조

그림 1은 축방향 이중 회전자 브러시리스 직류 모터의 단면을 보이고 있다. 그림에서 상, 하부 요크는 모두 회전자에 속하므로, 요크에는 직류 자속이 흐르고, 따라서 히스테리시스 손이나 와전류 손과 같은 철손은 없다. 중

간 부분의 코일은 고정자 권선이 된다.

그림에서 알 수 있듯이, 회전자는 코일을 중심으로 상하 대칭 구조를 하고 있으며, 자석과 자석 사이의 간격이 공극으로 작용한다.

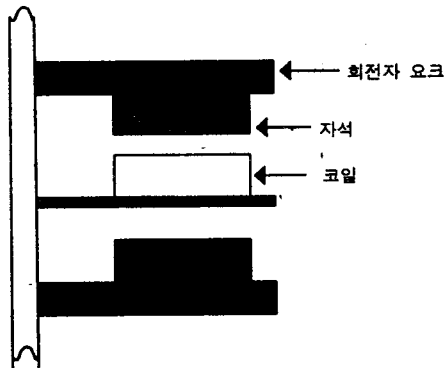


그림 1. 이중 회전자 모터 단면도

그림 2는 회전자 자석의 구조이며, 16극 구조를 하고 있다. 이때, 자석의 모양을 사다리꼴로 하게 된다면 자석의 최대 면적이 되므로 더 높은 효율을 기대할 수 있으나, 가공상의 문제와 자석의 비용관계로 인해, 사각형 자석을 선택한다.

자석을 디스크형으로 만들 수도 있으나, 사각형이 효율 등의 면에서 유리하다.[6]

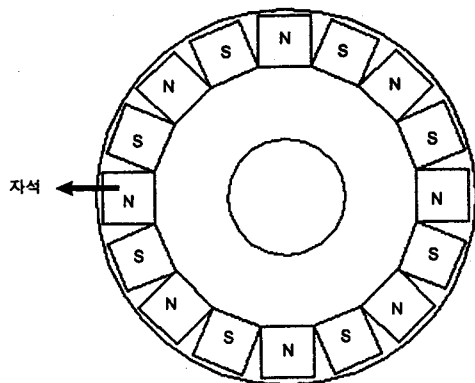


그림 2. 회전자 자석 구조

그림 3은 회트류 자석의 2상한에서의 자화 특성을 나타낸 그래프이다. 회트류는 페라이트와 달리 굴곡점이 존재하지 않으므로 감자의 위험은 거의 없다.

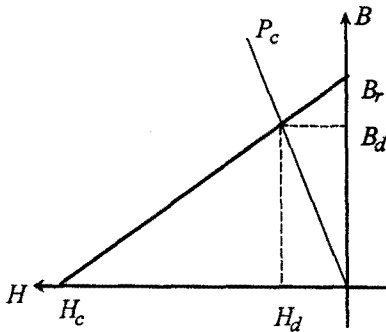


그림 3. 페라이트 자석 2상한 특성

### 3. 유전 알고리즘 및 효율 최적화

유전 알고리즘은 다윈이 주장한 자연 진화의 법칙인 적자생존(survival of fittest)과 자연 도태(natural selection)의 원리를 토대로 하여 정립된 최적화 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 설계 변수를 실제 값을 직접 사용하는 대신 2진수 코드 형태의 문자열(string)을 사용한다. 여기서, 문자열은 이산적인 성질을 지니고 있으므로 정수 또는 이산적 설계 변수를 포함하는 혼합형 최적화 문제에 효과적으로 사용할 수 있다.

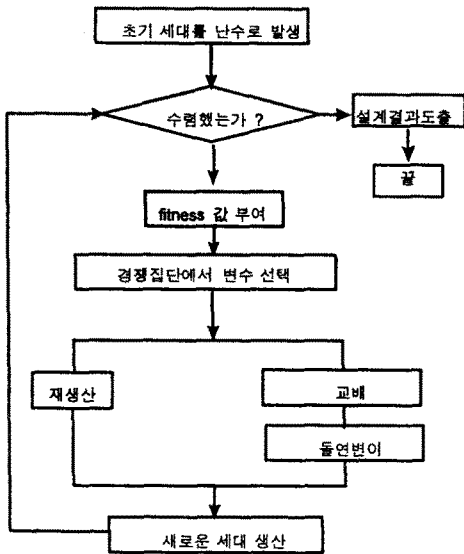


그림 4. 유전알고리즘 흐름도

대부분의 최적화 방법이 한 점에서 한 점으로의 이동에 의한 국부적인 탐색 과정을 가지는 반면에 유전 알고리즘은 여러 설계 점들이 집단(population)을 이루어 동시에 탐색을 행하여 보다 넓은 설계 영역에 대한 정보를 활용함으로써, 전체 최적 점에 수렴할 확률이 기존의 방

법에 비해 상대적으로 매우 크다. 또한 유전 알고리즘은 목적 함수와 제한 조건의 값만을 사용하고 미분 값이나 그 외의 다른 정보를 필요로 하지 않는 직접 탐색 방법이므로 전동기 설계와 같은 복잡하고 다양한 환경의 최적화 문제에 적합하며 또한 기본 모델의 변경으로 인한 수정이 용이하다.

유전 알고리즘을 본 연구 대상 모델에 적용하였을 경우 우선 설계변수 결정된 후, 초기 설계 집단(Initial Population)을 형성한다. 설계 점들은 초기에 설계 영역 안에 골고루 분포하게 된다. 다음, 적합성 목적 함수의 결과에 따라 적합성을 부여한다. 이후, 도태, 교배, 변종의 과정을 초기에서 정한 집단과 같은 수의 새로운 집단이 형성될 때까지 반복한다. 수렴 조건을 만족하면 종료, 아니면 적합성을 부여하는 루틴으로 돌아간다. 이러한 알고리즘에 목적 함수가 모터의 특성을 계산한 후, 정격 부하시의 효율을 계산한다. 주어진 변수들을 변화시키면서, 최대 효율점을 찾고, 이점에서의 설계 변수들을 결정한다. 그림 4는 이에 대한 흐름도이다.

### 4. 사례적용 및 설계 결과

본 논문에서는 이상의 설계 알고리즘을 적용하여 축방향 이중 회전자 브러시리스 모터를 설계하였다. 목적 함수는 전동기의 효율 최대화로 선정하였으며 이는 부피를 단축시켜 모터의 재료비 절감과 직결될 수 있다.

설계변수는 코일의 높이, 코일폭, 자석의 두께로 하였다. 제약 조건으로는 출력, 부하 속도가 제한된 범위 이내에 들도록 하였다. 설계 변수의 경우, 전압을 변화할 필요가 있을 때에는 인가전압도 설계 변수로 사용할 수 있다. 표 4.1은 이에 대한 결과이다.

또한, 본 논문에서는 모터의 효율을 극대화시킬 수 있는 여러 가지 방법을 모색하였는데, 그림 5는 설계된 모터의 사양에서 자석의 길이와 두께를 최대 20% 가량씩 늘렸을 때, 모터의 효율을 시뮬레이션한 결과이며, 자석의 부피가 증가될 때 모터의 효율이 거의 선형적으로 증가하게 됨을 그림 5를 통해 확인 할 수 있다.

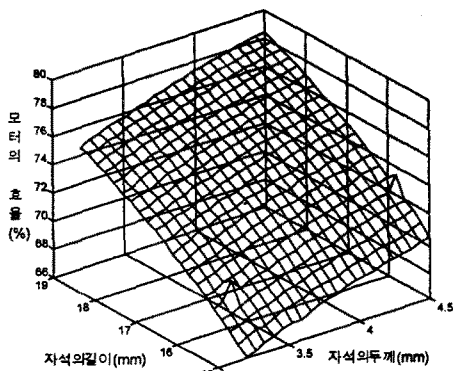


그림 5. 자석의 부피 변화에 따른 모터의 효율

이때, 희토류 자석은 값이 비싸다는 점을 감안할 때, 자석의 부피를 증가시키는 것에는 제약이 따른다. 또한 자석의 부피가 변한다면 모터의 크기도 변하기 때문에, 모터의 크기에 변화에 따라 미치는 관성력 등을 고려해 보면 오히려 효율이 나빠질 수도 있다. 이러한 문제점등을 감안하면 자석의 무조건적인 부피변화 보다는 일정 부피에서 형태변화에 따른 모터의 효율 극대화에 대한 시뮬레이션을 고려해 볼 수 있다.

그림 6은 일정부피 이내에서 자석의 길이와 두께를 조절하였을 때, 모터의 효율을 시뮬레이션한 결과이다. 그 결과 자석의 두께가 늘어나는 것에 비해 길이가 늘어나는 형태가 모터의 효율을 극대화 시킨다는 것을 확인할 수 있다.

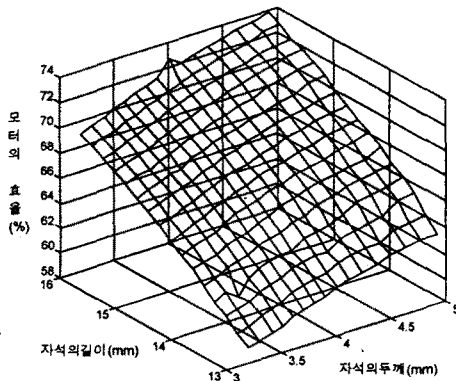


그림 6. 자석의 일정부피에서 형태변화에 따른 모터의 효율

위의 시뮬레이션을 통해 알 수 있는 사실은 자석의 부피변화와 형태변화에 따라서 모터의 효율이 결정된다는 것이다. 그림 7은 일정부피에서 자석의 형태를 변화 시켰을 때, 모터의 효율을 시뮬레이션한 결과이고, 자석의 부피도 현재 설계된 모터의 사양에서 5%씩 -10%에서 +20%까지 조절해 보았고, 자석의 두께보다는 길이가 길어짐이 유리함을 알 수 있다.

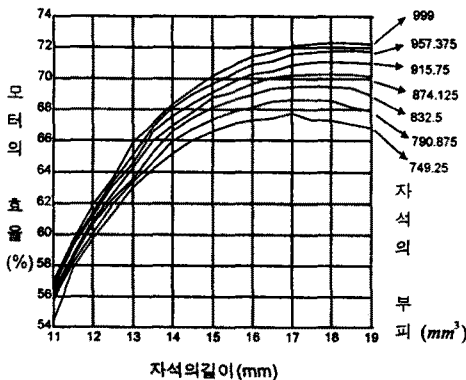


그림 7. 자석의 형태와 부피변화에 따른 모터의 효율

## 5. 결 론

본 논문에서는 이중 회전자 구조를 갖는 축방향 모터의 특성 및 설계 방법을 보였다. 특히, 회전자에는 희토류 자석을 사용하여 큰 용량의 축방향 모터의 제작 가능성을 보였다. 또한, 모터의 효율을 극대화 시킬 수 있는 여러 가지 방법을 시뮬레이션한 결과, 자석의 모양과 자석의 크기에 따라 모터의 효율이 증대됨을 확인할 수 있었으며, 자석의 두께를 늘리는 것보다 자석의 길이를 늘리는 것이 모터의 효율을 극대화 시킨다는 사실을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

표 4.1. 최적 설계된 모터의 사양

코일수	12	극 수	16
정격출력	112 W	정격전압	280 V
고정자			
도선 직경	0.26mm	코일의 폭	8.5 mm
코일 두께	6.0 mm	코일 턴수	660
회전자			
Br	1.12 T	Hc	852000 A/m
자석 두께	3.2 mm	자석의 길이	16 mm
기타 [N-m]			
시동토크	8.0 Kgcm	부하 토크	12.6 Kgcm
효율	69%	정격 전류	0.61 A
무부하속도	1212 rpm	정격 속도	870 rpm

본 연구는 주식회사 유유의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다.

### (참 고 문 헌)

- [1] T. Kenjo, S. nagamori, *Permanent Magnet and Brushless DC Motors*, Sogo Electronics Publishing Company, 1986.
- [2] J.R.Hendershot Jr., TJE Miller, *Design of Brushless Permanent Magnet Motors*, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1994.
- [3] 大川光吉, 永久磁石磁氣回路の設計, 特性計算法, 總合電子リサーチ, 昭和62年.
- [4] Sun-Ki Hong, "Design of Axial Double Rotor Type Brushless DC Motor Using Disk Pieces of Rare-Earth Magnet," ICEE Proceedings Vol. I, PP 131-134, Kyong-Ju, Korea July 1998.
- [5] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley Publishing Co., 1989.
- [6] Li. Touzhu and G. Slomon, "Reduction of Cogging Torque in Permanent Magnet Motors," *IEEE Trans. on Magn.*, Vol. 24, No. 6, pp. 2901-2903, 1988.