1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

비선형 유한요소법과 최적화 기법을 이용한 고점적률 BLDC의 최적설계

오승균* , 정태경* , 진용선**
*중앙대학교 전기공학과, **(주)성 신,

An Optimal Design of High Space Factor BLDC Motor by Nonlinear Finite Element Method and Optimization Method

*Seung-Kyun OH, *Tae-Kyung Chung, **Yong-Sun JIN ,
*Electromechnical dynamics Lab, Chung-Ang Univ, **SungShin

Abstract - This paper discusses an otimal design of high space factor BLDC motor. Because of high space factor BLDC, Nonliear finite element method considering saturation of outer-rotor is used. For optimal design, a new niching genetic algorithm, namely "Restricted Competitions Selection" is used. This algorithm constructs an objective function using only the most impotant criteria and provides a designer with a set of solution rather than one solution. To verify its effectiveness, the new niching genetic algorithm is applied to an actual high space factor BLDC motor. We show that a new designed high space factor BLDC motor is superior to the actual high space factor BLDC.

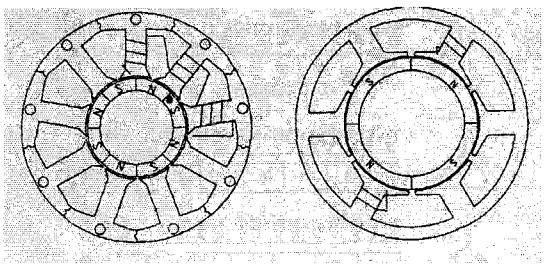
1. 서 론

최근에는 전동기의 크기가 감소되면서 고출력, 고효율 전동기의 개발이 요구되고 있다. 위의 조건을 만족시키기 위해서, 본 논문에서는 영구자석 8극의 회전자와 9슬롯의 고정자로 조합된 고점적률 BLDC 전동기의 최적 설계에 대하여 연구하였다. [1],[2]
전기 기기의 형상이나 구조설계 최적화 문제는 전역 최적점 외에 목적함수의 크기가 같은 여러 개의 국소 최적점이 존재하므로 여러 개의 피크가 존재하는 muti-modal한 문제이다. 이러한 최적화 문제의 경우에 일반적인 유전 알고리즘을 적용하는 경우 탐색과정에서 하나의 전역 최적점에만 수렴하게 된다. 이것을 해결하기 이해 생태계의 유전 알고리즘에 니체(niche) 개념을 도입하여 탐색공간에서 여러 해를 병렬적으로 찾을 수 있게 하는 새로운 니칭 유전 알고리즘인, restricted competitions selecton을 적용하였다. [3],[4]

2. 본 론

2.1 8극 9슬롯 고점적률 BLDC 전동기의 구조적인 특성

일반적인 BLDC 전동기의 고정자와 회전자 극수의 비는 2:3이다. 그러나 근래에 들어서는 전동기의 소음 및 진동을 경감시키려는 노력과 더불어 소음 및 진동의 주된 원인이 되는 코깅 토오크를 줄이기 위해 고정자와 회전자의 극수를 기존의 틀을 벗어나는 조합(그림.1)으로 설계하고 있다.
또 다른 특성으로는 기존의 전동기에서는 고정자 슬롯 전체를 펀칭한 뒤에 적층하는 제작 방법을 사용하지만, 본 전동기는 각각의 치를 먼저 만들어 권선을 감은 후에 조립하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법은 권선을 감는 것이 용이하여 점적율을 높일 수 있으며, 슬롯 개구폭을 줄여서 고정자의 릴럭턴스 변화를 줄여 코깅 토오크를 감소(그림.2)시킬 수 있다.[1],[2]



(고 점점률 BLDC) (일반 BLDC)
그림 1. 고 점적률 BLDC와 일반 BLDC의 구조 비교

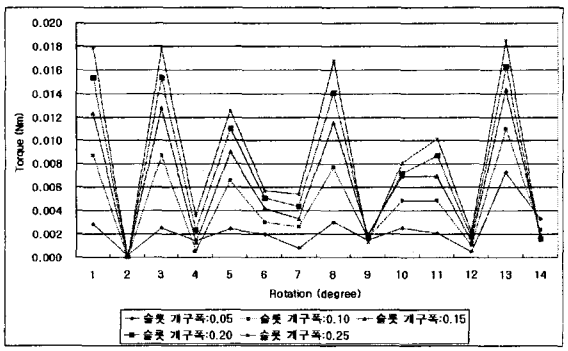


그림 2. 슬롯 개구폭에 따른 코깅 토오크

위와 같은 구조적 특성으로 포화 현상을 고려한, 비선형 유한 요소법을 이용한 특성 해석이 필요하다. [5]

2.2 새로운 니칭 유전 알고리즘 - Restricted Competition Selection

자연 생태계에서 비슷한 모습을 가진 개체들의 집합인 종(specie)들이 각각의 자기영역과 역할을 가지고 있는데 이것을 니체(niche)라고 한다. 이러한 생물학의 니체와 종의 개념을 multi-modal 최적화 문제를 해결하기 위해 유전 알고리즘에 도입하는데, 니체는 multo-modal한 탐색 공간 내에서의 각 피크점들의 위치, 종은 전체 개체 집단(population) 중에서 서로 어떤 주어지 거리(niche radius)내에 있는 개체들에 해당된다고 할 수 있다. 그리고 이러한 니체들을 탐색하는 유전 알고리즘을 니칭 유전 알고리즘이라 한다. 기존의 대표적인 니칭 유전 알고리즘에는 sharing과 crowding이 있다. 그러나 sharing과 crowding은 각 니체의 적합도(fitness)에 비례하여 개체들을 유지하는 방법이므로, 본 논문에서 새로운 니칭 유전 알고리즘인 restricted competition selection (RCS)를 적용한다.
이는 엘리트 집단(elite set)이 있어서 한번 탐색한 피크

점은 더 좋은 피크점이 나타날 때까지 항상 보관하게 된다. 탐색 과정 중에 찾은 피크치를 저장하고 그 피크치 주위에 있는 점들은 다음 세대에서는 선택이 되지 않도록 함으로서 다른 니체내의 개체가 적합도가 낮더라도 선택되도록 하여서, 니체 개체들간의 경쟁을 제한하므로 개체의 다양성을 유지하여 여러 국소 최적점들을 탐색할 수 있게 된다.

이와 같은 새로운 니칭 유전 알고리즘, restricted competition selection을 적용하여 설계 대상물의 가장 중요한 특성 하나만을 목적함수로 선정한 후에 여러 개의 최적해 후보들을 탐색한다. [3],[4]

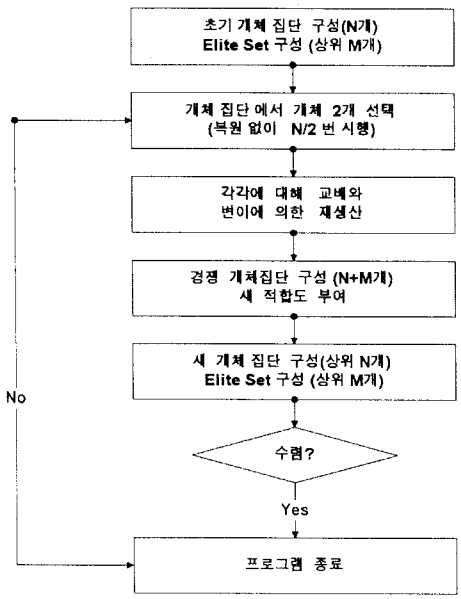


그림 2 New niching algorithm의 흐름도

값이 1인 다섯 개의 최적해를 갖는 다음의 시험 함수에 restricted competition selection을 적용한 예를 그림.3에 나타내었다.

시험 함수 : $F(x) = \sin^6(5\pi x)$

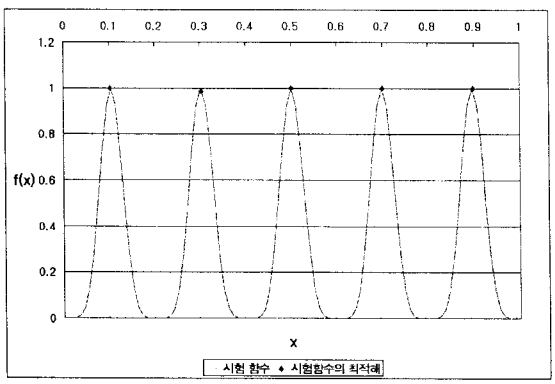


그림 3. 시험 함수의 최적해

2.3 High Space Factor BLDC Motor의 최적설계

최적화 대상 high space factor BLDC 전동기의 형상, mesh diagram, flux line은 다음과 같다

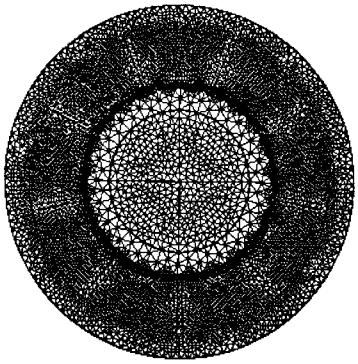


그림 4. 최적화 대상 BLDC 전동기의 mesh

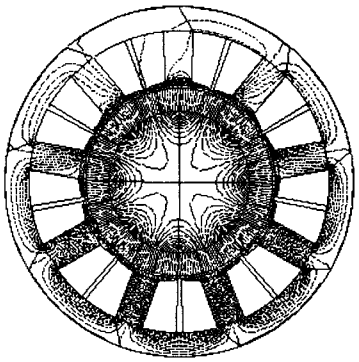


그림5. 최적화 대상 BLDC 전동기의 flux line

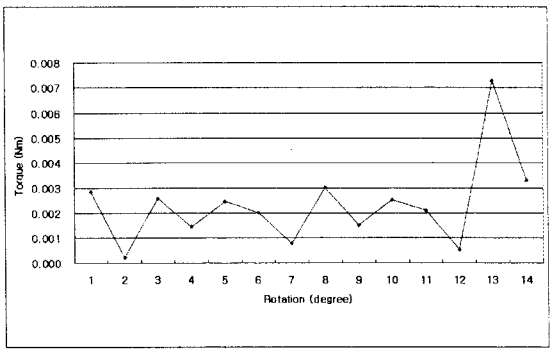


그림 6. 최적화 대상 BLDC 전동기의 코깅 토오크

최적화 대상 BLDC는 15° 의 주기성을 가지므로 코깅 토오크가 반복되므로 최적화 대상 BLDC를 0° 에서 14° 까지 회전시키면서 코깅 토오크를 목적 함수로 최적화한다.

목적함수 $= \sum_{i=1}^{N} [\tau_i - \tau_{avg}]^2$

여기서 : τ는 i번째의 각의 토르크값,
τ_{avg}은 모든 각들에서의 평균 토르크값,
N은 총 계산해야할 각들의 수

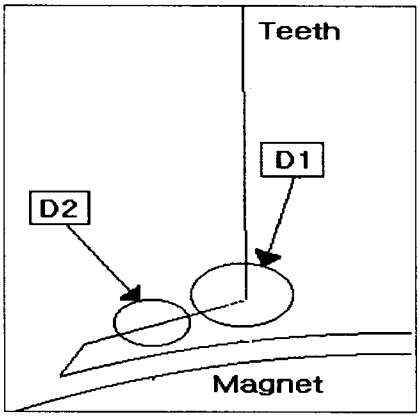


그림 7. 치의 형상과 설계 변수

그림 2.와 같이 슬롯 개구폭이 작을수록 코깅 토오크가 작으므로 슬롯개구폭은 0.1로 고정시키고 D1과 D2를 설계 변수로 결정한다

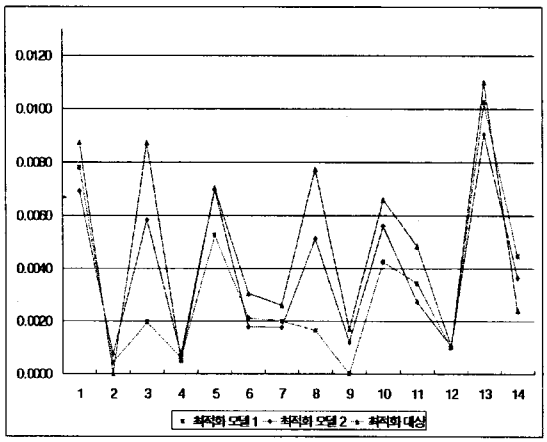


그림 8. 최적화 대상과 최적화 모델의 코깅 토오크 비교

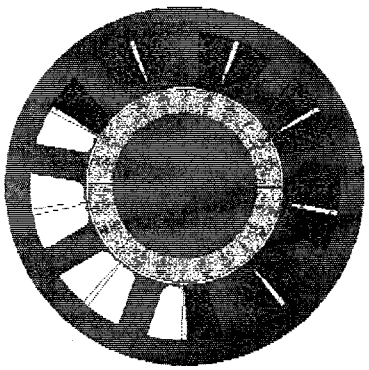


그림 10. 최적화 모델 "1"의 형상

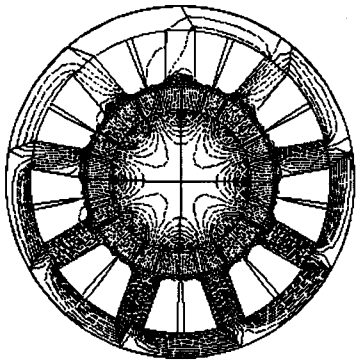


그림 11. 최적화 모델 "1"의 flux line

최적화 대상 전동기의 코깅 코오크가 0.00471Nm에서 최적화 모델 "1"에서 0.00323Nm로 68.47%로 감소하였다.

3. 결 론

고점적률 BLDC 모터의 최적 설계를 위해서 비선형 유한요소법과 세로운 니칭 유전 알고리즘인, restricted competition selection을 적용하였다. 비선형 유한 요소법과 restricted competition selection을 통해 고점적률 BLDC 전동기의 코깅 토오크를 감소시키는 최적 형상 여러개를 찾았다. 위의 결과로 최적 설계 형상에 대한 실제 전동기 설계시, 코깅 토오크가 최소가 되는 여러 형상 중 다른 설계 요소를 고려하여 설계할 수 있도록 적용성을 개선하였다.

[참 고 문 헌]

[1] J.R. Hendershot and T.J.E. Miller "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors" Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1994..
[2] 황인택 "고점적률 BLDC 전동기의 설계에 관한 연구" 중앙대학교 석사 학위 논문, 1996.
[3] David E. GoldBerg "Genetic Algorithms in Search, Optimization Search, Optimization, and Machine Learning" Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
[4] 이철균 "Niching 유전 알고리즘을 이용한 전기자동차용 유동전동기의 최적설계" 서울대학교 공학박사 학위 논문, 1998.
[5] S.J .Salon "Finete Element Analysis of Electrical Machines" Kluwer Academic Publishers, 1995.