

F.E.M.을 이용한 냉장고용 FAN 모터의 해석과 Niching Algorithm을 이용한 최적 설계에 관한 연구

한동규*, 정태경*, 진용선**
*중앙대학교 전기공학과, ** (주)성신.

A Study for the Optimum Design of Fan Motor in Refrigerator Using A Niching Algorithm and Characteristic Analysis Using The Finite Element Method

*Dong-Kyu HAN, *Tae-Kyung Chung, **Yong-Sun JIN,
*Chung-Ang Univ. Electromechanical Dynamics Lab, **SungShin

Abstract - This paper discussed an optimal designs of 2 pole fan motors in refrigerator using a Niching Algorithm. We applied a Niching method to multi-objective optimal design of air gap construct. This Niching genetic algorithm is called "Restricted Competition Selection" (RCS) that is suitable for real world problem such as shape or structural optimization of electromagnetic device. The finite element method being used for nonlinear numerical characteristic analysis is provided exact solution in the system. Through this process is reduced the cogging torque ripple in air gap.

이것은 자기적인 중성축을 전기적 중성축과 다르게 두어서 전류를 흘려 주었을 때 기동 토크를 형성하게 하며 전기적 중성축에 홀 소자를 두어서 전류의 방향을 바꾸어 항상 같은 방향으로 회전하게 하는 구조를 가지고 있다(6)(7). 위와 같은 구조로 되어 있기 때문에 발생하는 코깅 토크에 의한 리플 성분을 줄임으로써 시스템의 안정적인 운전과 기계적인 손실을 최소화 할 수 있다.

1. 서 론

전기기기의 구조적인 최적화 설계에 사용되는 알고리즘은 크게 두가지로서 확률론적(stochastic) 방법과 직접탐색(deterministic)방법이 있다. 직접탐색법의 경우에는 미분을 사용하여 최적화의 가속을 하므로 빠른 최적화를 보여주지만 초기값에 따라 최적값이 달라지고 국부적인 최적값을 찾을 확률이 높으므로 복잡한 목적함수나 비선형적인 시스템의 설계에의 적용이 어려운 문제가 있다. 반면에 확률론적인 방법은 미분을 사용하지 않으므로 가속이 되지 않는 단점이 있지만 초기값이 독립적이고 전역적인 최적값을 찾을 확률이 높다. 본 논문에서 사용한 방법은 비선형적인 모델의 설계를 하기 위해 확률론적인 방법중 유전알고리즘의 단점을 보완한 Niching 알고리즘을 사용하였다. 실제 제작에 사용할 수 있는 전기기기의 형상이나 구조적인 설계의 최적화의 경우에는 전역적인 극한값 이외에 목적함수의 크기가 전역 극한값과 거의 같은 여러개의 극한값이 존재한다. 그러므로 기존의 알고리즘을 사용하여 설계했을 경우 최적화된 설계값이 실제의 모델에는 적용될수 없는 경우가 있었다. Niching 알고리즘은 전역적인 유일해와 근접한 여러 다른 최적값을 제시해서 좀 더 사실적인 모델링을 할 수 있는 장점이 있다. 위의 알고리즘을 통해 냉장고용 Fan 모터의 최적화와 함께, 보다 정확한 해석을 위하여 유한요소 해석시 비선형해석을 하였으며, 향후 실제 제작에 사용 될 수 있는 비주요한 틀을 사용하여 일관적인 설계 및 해석을 하였다. 본문에서 Niching 알고리즘의 적용과 유한요소법을 통한 비선형 해석에 관하여 자세히 다루었다.

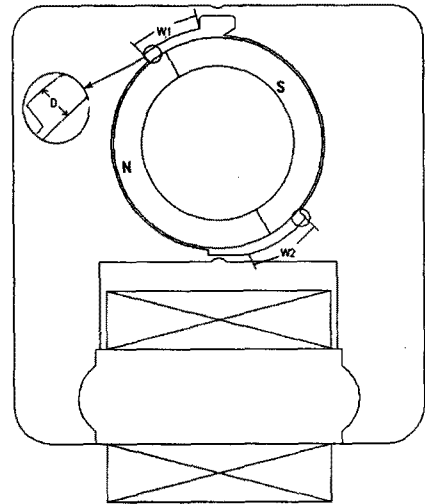


Fig.1. 냉장고용 2극 Fan 모터의 형상

위의 그림에서 공극부 위와 아래의 부분의 폭(W1,W2)과 깊이(D)를 설계 변수로 하고 Niching 알고리즘을 통한 최적화를 통해 전류를 흘리지 않았을 때의 토크의 리플을 최소화 하도록 설계를 하였다. 기존의 모델의 코깅 토크의 리플을 다음의 그래프에서 알 수 있다.

2. 본 론

2.1 냉장고용 2극 Fan 모터의 구조적 특징

본 논문에서 다루고자 하는 냉장고용 2극 fan 모터의 구조적인 특징은 다음과 같다. 공극부에 굴곡부를 두어서 기동시에 항상 기동 토크를 형성하게 해준다.

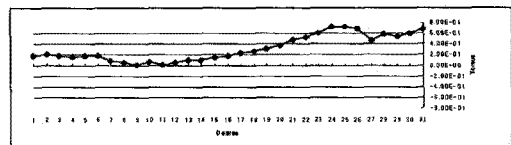


Fig.2. 냉장고용 2극 Fan 모터의 코깅 토크 Profile

2.1 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 생명체의 자연 진화 법칙을 일반 최적화 문제에 적용한 방법으로 설계영역에 다수의 설계점을 분포 시켜 목적함수값과 제약조건 위반정도에 따라 각 설계점에 적합성(Fitness)을 부여 한다. 적합성이 클수록 다음 단계인 교배(Crossover)와 변종의 과정에 참여할 확률을 크게 하여 적합성이 좋은 설계점에 비슷한 형질을 가진 설계점이 다음 단계보다 많이 형성되어 계산이 진행 될수록 전체 설계점들은 좋은 방향으로 탐색이 진행된다. 기존의 최적화 방법과 비교했을 때, 유전 알고리즘의 장점을 다음과 같이 나타낼 수 있다. (1) 유전 알고리즘은 설계변수로 이산적 성질을 지닌 2진 코드 형태의 문자열을 사용하므로 정수 또는 이산적 설계변수를 포함하는 혼합형 최적화 문제에 효과적으로 사용할 수 있다. (2) 다수의 설계점들이 집단적으로 탐색을 하므로 직접탐색의 최적화방법에서 볼 수 있었던 국부적인 탐색과정을 거치는 것이 아니라 여러 설계점들이 집단(Population)을 이루어 동시에 탐색을 행하여 보다 넓은 설계영역과 비선형적인 시스템의 설계에 관한 정보를 활용함으로써, 전체의 최적점에 수렴할 확률이 상대적으로 기존의 방법보다 높다. (3) 유전알고리즘은 목적함수와 제한 조건의 값만을 사용하고 미분값이나 그 외의 다른 정보를 필요하지 않는 직접탐색 방법이므로 모터의 설계와 같은 복잡하고 다양한 환경의 최적화 문제에 적합하며 또한 기존의 모델의 변경으로 인한 수정이 용이한 장점이 있다[3].

2.2 Niching 유전알고리즘의 필요성

실제 제작에 사용과정에 적용하는 문제인 전기 기기의 형상이나 구조설계의 최적화의 경우 전역 최대점 외에 목적함수의 크기가 전역 최대점과 거의 같은 여러 개의 국소 최대점이 존재하는, 즉 여러 개의 피크가 존재하는 multi-model 의 문제이다. 이러한 최적화 문제에 기존의 표준적인 유전알고리즘을 적용하면 다른 피크에 해당하는 schemata 사이의 경쟁을 제한할 수 없으므로 하나의 전역 최적점에 수렴을 한다. 이러한 현상을 genetic drift라 한다. 기존의 방법으로 찾은 최대점의 경우 물리적으로 구현하기 힘든 경우가 존재한다. 이것을 해결하기 위해 제안된 Niching 기법은 생태계의 "니체(Niche)"개념을 도입하여 탐색공간에서 최대점에 근접한 여러 해를 병렬적으로 제시한다. 자연 생태계에서 비슷한 모습을 가진 개체들의 집합인 종(specie)들이 각각의 자기 영역과 역할을 가지고 있는데 이것을 니체라고 하고, 이 개념을 multi-model 최적화 문제를 해결하기 위해 유전알고리즘에 도입하는데, 니체는 multi-model한 탐색공간 내에서의 각 피크 점의 위치, 종(specie)은 전체 개체집단(Population)중에서 서로 주어지 거리(niche radius) 내에 있는 개체들에 해당된다고 할 수 있다. 이러한 니체들을 탐색하는 유전 알고리즘을 Niching 유전 알고리즘이라고 할 수 있다[1].

2.3 Niching 유전알고리즘의 적용 과정

대표적인 Niching 유전 알고리즘의 기법으로는 한 개체의 적합도를 전체 개체집단 내에서 비슷한 개체수에 관련된 양인 니체용량(Niche Count)으로 나누어 새로운 적합도로 정의 하는 Sharing기법과 새로운 개체를 개체 집단내의 개체 집단내의 기존 개체들중에서 가장 비슷한 개체와 교체하는 Deterministic Crowding 기법이 있다. 위의 방법은 니체의 적합도에 비례하여 개체들을 유지하는데 전기기기의 형상이나 구조 설계의 최적화 문제의 경우에는 니체 내에서 가장 큰 적합도를 가지는 개체만이 필요한데 그 이유는 같은 니체 내에 있는

개체들은 형상, 구조, 모터의 특성 등이 아주 비슷하기 때문이다. 그러므로 본 논문에서는 적합도가 최대인 하나의 개체만 유지하는 Restricted Competition Selection(RCS) 기법을 사용하는데, 이 기법은 적합도가 최대인 하나의 개체만을 유지한다. RCS기법은 자식세대 개체집단을 구성 할 때 개체의 다양성을 유지하기 위해 같은 니체 개체간의 경쟁은 허용하지만 다른 니체 개체간 들의 경쟁을 제한한다. 즉, 탐색영역에서 서로간의 거리가 Niche Radius 이내인 개체들의 적합도를 비교하여 승자의 적합도는 그대로 유지하고 패자의 적합도는 '0'으로 지정한다. 이렇게 함으로써 같은 니체내에서는 하나의 개체만이 자식세대로 전달되고, 다른 니체의 개체는 비록 적합도가 작더라도 선택된다. 위 RCS 기법 외에 최적화 과정에서 탐색된 국소 최적점을 유지하기 위해 엘리트 집합을 도입한다. RCS 기법은 다음 루틴으로 구성된다[1].

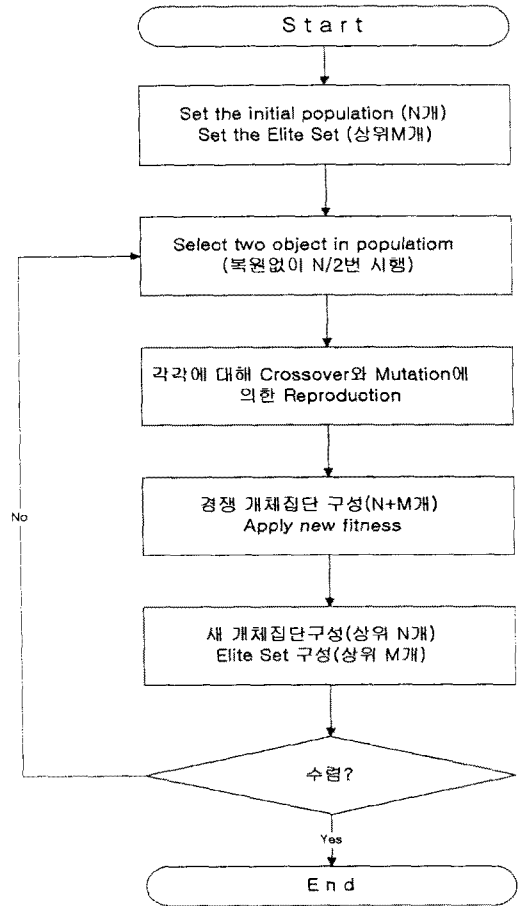


Fig.3. Flowchart of Niching algorithm using RCS

2.4 Niching 알고리즘을 이용한 모터의 최적설계

위에서 도입된 Niching 알고리즘을 이용하여 다음의 예제에 적용하여 기존의 형상을 변화하여 코깅 토오크의 리플을 줄여 최적화 되는 과정을 보인다.공극 양단의 폭(W1,W2)과 깊이(D)를 설계변수로 주고, 토오크를 목적함수로 해서 최적화를 하였으며, 위의 과정을 통하여 나온 최적치에 대한 해석을 유한요소법을 통하여 비선형적인 해석을 하였다.

$$* \text{목적함수} = \sum_i [T_i - T_{avg}]^2$$

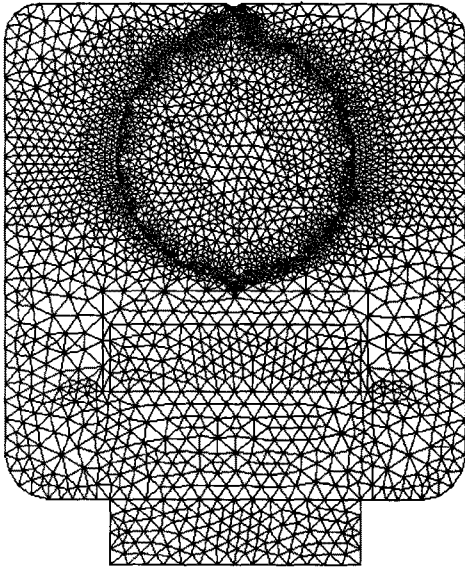


Fig.4. 최적화 된 모터의 mesh 형상

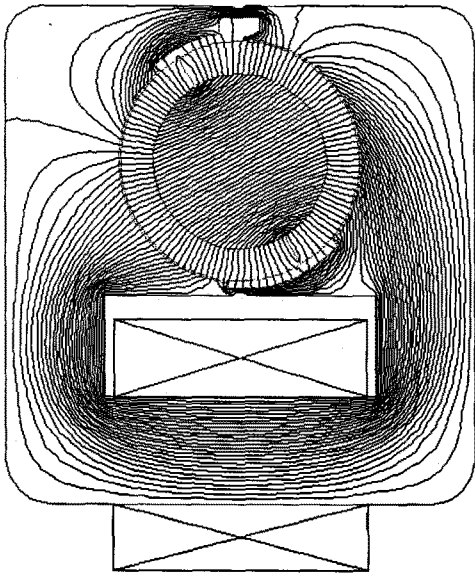


Fig.5. 최적화 된 모터의 형상과 Flux form

위의 그림은 노드수 10698개의 요소로 나누어 해석을 했을 시의 Flux 의 흐름을 보여준다. Niching 알고리즘이 제시한 최적해와 근사한 4개의 형상의 코깅 토오크의 변화를 Fig.6에서 보이고 있다. 이것은 기계적인 각도로 105도를 기준으로 하여 1도씩 30도 회전시킨 그래프이다. 최적해의 경우 코깅 토오크의 평균이 기존의 0.3173 Nm 에서 0.2009 Nm 로 감소했고, 최적 근사 모델의 경우도 기존의 모델보다 평균 코깅 토오크가 66.61%정도로 줄었다.

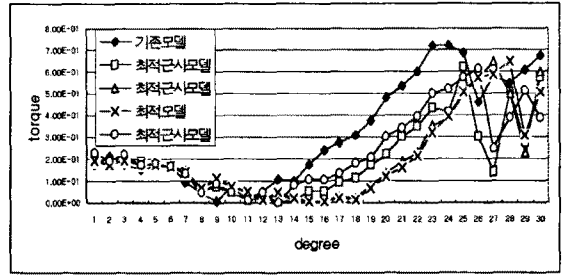


Fig.6. 최적 근사 모델의 토오크 Profile

3. 결 론

냉장고용 2극 Fan 모터의 최적설계를 위한 방법으로 사용한 Niching 알고리즘의 경우 실제 제작에 사용할 수 있도록 최적해와 근사한 다른 해를 제공하여 물리적으로 구현 가능성이 있는 해를 찾을 수 있었다. 그리고 보다 정확한 해석을 하기 위해 유한요소법을 적용하여 비선형 시스템의 수치해석에 정확도를 기했으며 위의 최적 결과값에서 볼 수 있듯이 Niching 알고리즘을 통한 최적화가 전기기기의 최적화 알고리즘으로서의 적합성을 증명할 수가 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이 철 균, "An Optimal Design of Induction Motor for Electric Vehicle using Niching Genetic Algorithm" 서울대학교 전기공학부 공학박사 학위논문 1998.6.
- [2] David E. Goldberg "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning." Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [3] 심 귀 보, "유전자알고리즘(Genetic Algorithms)", <http://rice.cie.cau.ac.kr/EAs/GAs.html>
- [4] Scott Robert Ladd, "Genetic Algorithms in C++", M&T Books, 1996.
- [5] Jasbia S. Arora, "Optimum Design", McGRAW-Hill International Editions, 1989.
- [6] Hi-Dong Chai, "Magnetic Fundamentals and Motion Devices" San Jose State Univ. 1997.
- [7] Essam S. HAMDI, "Design of Small Electrical Machines", John Wiley & Sons Ltd., 1994.