

Evolution Strategy를 이용한 선형 동기 전동기의 최적 형상 설계

전대영^{*,}, 김동수^{*}, 차귀수^{**}, 한송엽^{*}

* 서울대학교, ** 순천향대학교

Optimum pole shape design of linear synchronous motor by Evolution Strategy

Dae-Yeong Jeon^{*,}, Dong-Soo Kim^{*}, Guee-Soo Cha^{**}, Song-Yop Hahn^{*}
* Seoul Nat'l Univ, ** Suncheonhyang Univ

Abstract Optimum pole shape is designed to increase the levitation and propulsion force of magnetic levitation systems.

Evolution Strategy is introduced as optimization method. Evolution Strategy is random based non-deterministic method, developed by combining Genetic Algorithm with Simulated Annealing.

Transrapid-06, which was developed in Germany, is referenced model to be analyzed.

Design variables are nodes which determine fields pole shape of a linear synchronous motor, and the model analyzed by F.E.M.

1. 서론

자기부상열차의 선형 전동기는 무거운 하중을 부상, 추진시키기 위해 수 MW 단위의 매우 큰 전력이 필요하므로, 선형 전동기에 대한 최적 설계는 상당한 에너지의 절감 효과가 있게 되어 자기부상열차의 경제적 운용에 도움을 준다. 본 논문에서는 해석 모델을 독일에서 개발한 TRANSRAPID-06을 참고로 하고, 최적 설계 방법으로 Evolution Strategy를 도입하여, 선형 동기 전동기의 계자극에 대한 최적 형상 설계에 적용하였다. 즉 계자의 자극 형상을 유한요소법과 Evolution Strategy에 의해 최적화함으로써 추진력과 부상력을 더 높일 수 있도록 하였다.

Evolution Strategy는 역변환 문제 해결 방식에서 비결정론적 방법에 속하는데 이 방법은 결정론적 방법에 비하여 알고리즘이 간단하면서, 여러가지 함수적인 구속 조건들(연속 조건, 미분가능 조건)에 구속 받지 않으므로 일반적으로 더 쉽게 절

대 최소치를 구할 수 있다는 장점이 있다.

2. Evolution Strategy

Evolution Strategy는 확률 방법에 기초한 비결정론적 최적화 기법중의 하나로서, 자연환경에 적응하여 다양하게 변해가는 생물체의 유전적 진화 과정을 모사한 Genetic Algorithm과 금속의 풀림 과정에서 재료의 구조가 최대한 안정되게 하는 과정을 모사한 Simulated Annealing을 합성한 것이다.

이 방법은 다음과 같은 세가지 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 생명체에서 일정한 유전적 틀 안에서 다음 세대를 복제해내는 재생산(regeneration) 과정이고 그 다음이 다른 요인으로 인해 변이(mutation)가 생기는 과정이다. 마지막은 위의 두 과정들이 반복되면서 과정에 반영되는 주어진 환경 변화에 서서히 적응해가는 과정이다.

구체적으로 위 과정들을 설명하면 다음과 같다.

먼저 미리 설정한 처음의 a개의 설계 변수 집합이 처음 부모세대를 형성한다. 이들로부터 일정한 범위내에서 확률변수를 발생시켜 다음세대를 생성시킨다. 그 다음에 부모 세대와 다음 세대 전체를 통해 목적 함수에 가장 적합한 b개의 원소를 다음 부모 세대를 다시 구성한다. 여기까지의 과정이 변이와 재생산과정이다.

한편, 이 과정을 반복하면서 세대에 따라 변이의 변화폭을 점차적으로 감소시켜 가는데 이것이 진화의 전개를 조율하는 적응 과정이다.

이상과 같은 과정을 반복하여 결국 목적함수에 가장 잘 부응하는 설계 변수들을 구하게 되는데 이

것이 (a+b) Evoution Strategy 적용 과정이다.

3. 사례 연구

앞서 언급한 Evoution Strategy 방법 중에서 알고리즘이 간단하고 계산시간이 짧은 (1+1) Evoution Strategy를 이용하여 선형 동기 전동기의 최적형상을 설계하였다. 설계변수는 그림 1과 같이 동기 전동기의 계자 자극의 모양에서 변화하도록 하였다. 적용모델에서 전기자와 계자의 기자력을 보면 전기자는 3상 최대치 1200 [AT], 계자는 6000 [AT]이다. 유한요소법을 사용하여 자장을 계산하고 Maxwell Stress Tensor 를 이용, 힘을 계산하였다. 그리고 형상변화의 결과를 2차함수로 보간하였다. 초기 형상에서 계산된 부상력, 추진력은 부하각이 30° 일때 각각 4750 [N], 147 [N] 이다.

계자극 설계에서도, 부하각이 30° 일때 부상력, 추진력, 또는 부상력과 추진력을 동시에 고려하여 각 경우의 최적 형상을 설계하였고 그 결과는 다음과 같다.

그림 2와 그림 3은 각각 추진력과 부상력을 목적함수로 하여 설계한 최종 형상이다. 초기 형상과 비교하면, 부상력의 경우 x방향으로 계자극의 길이가 증가하는 한편 자속이 지나지 않는 부분은 깎아내어 자극 체적당 힘을 증가 시킨 것과 같이 목적함수로 정한 힘이 최대가 되도록 적절한 형상으로 변했음을 알 수 있다. 그림 5, 그림 6은 이 경우, 계자극이 이동할 때, 슬롯 간격의 1/6 마다의 위치에서 힘의 분포를 구한 것이다.

부상력은 초기값에 비해 평균 24 % 증가하였으며 추진력도 평균 35 %로 크게 증가하였다.

그림 4는 추진력에 일정한 가중치를 준 상태에서 부상력과 추진력을 동시에 목적함수로 하여 설계한 최종 형상이다. 부상력과 추진력을 동시에 증가시키기 위해 앞의 두 경우의 절충형의 형상이 되었으며, 이때의 부상력과 추진력의 분포를 나타낸 그림 7, 그림 8은 부상력과 추진력의 평균값의 증가가 각각 10 %, 13 %로 그림 5, 그림 6의 경우보다 작아졌지만, 각위치에 따른 힘의 변동이 상당히 완화되어 안정된 모습을 나타내고 있다.

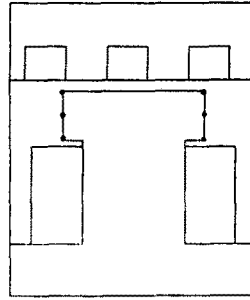


그림 1. 해석모델의 초기형상과 설계 변수

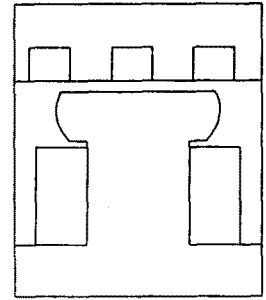


그림 2. 추진력 증가를 목적으로 한 최종 설계 형상

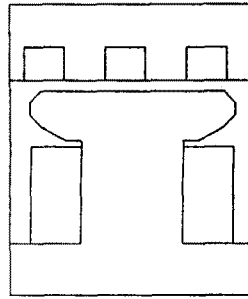


그림 3. 부상력 증가를 목적으로 한 최종 설계 형상

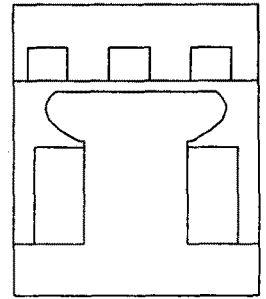


그림 4. 추진력과 부상력을 동시에 고려한 설계 형상

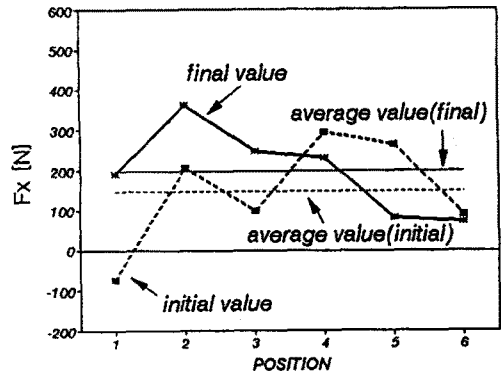


그림 5. 위치에 따른 추진력

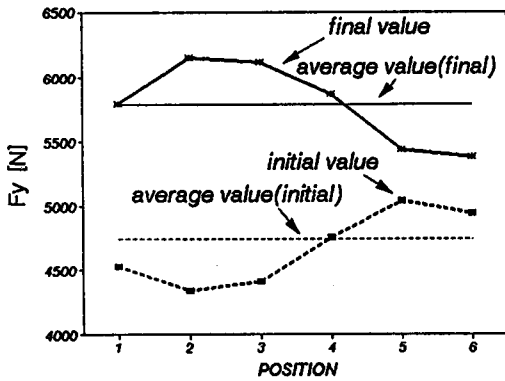


그림 6. 위치에 따른 부상력

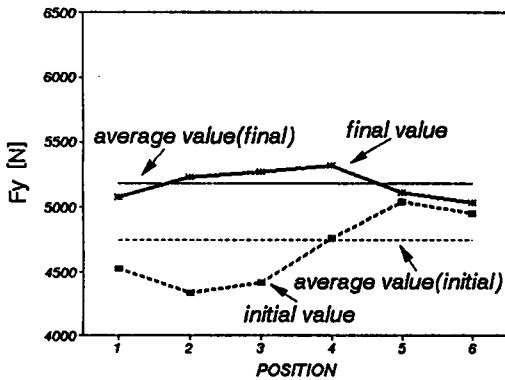


그림 7. 위치에 따른 부상력

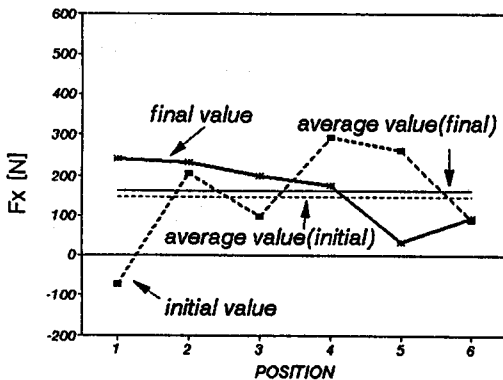


그림 8. 위치에 따른 추진력

4. 결론

(1+1) Evoution Strategy를 적용하여 선형 동기 전동기 계자자극에 대한 최적 형상을 설계하였다.

실제된 최종형상에서 계자 자극 체적의 증가율은 5% 내의였는데, 각 힘들이 초기치에비해 큰폭으로 증가하여 실질적으로 유용한 결과를 얻을 수 있었다.

부상력과 추진력을 동시에 고려할 때, 각위치에 따른 힘의 변화율은 감소하여 안정된 경향이였으나 힘의 증가폭이 그 이전 경우보다 작아졌는데 이것은 앞으로 적절한 가중치를 부상력과 추진력에 안배하므로써 개선될 수 있을 것이라고 생각된다.

5. 참고 문헌

1. K.Preis, A.Ziegler, ' Optimal design of electromagnetic devices with evolution strategies ', *Compel* 9 suppl,A,1990, pp 119-122
2. Manfred Kasper, 'Shape optimozation by evolution strategy ',*IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL 28, NO.2, MARCH 1992, PP 1556-1560
3. G.Bohn, H.Alscher, ' The magnetic train transrapid 06 ', *Proce.MAGLEV*. Vancouver,B.C., Canada,MAY 14-16, 1986
4. Klaus Heinrich, Rolf Kretzschmar, ' Transrapid MagLev System ', *HESTRA-VERLAG Darmstat*