

## 영전식 Magnetic Lifter 의 최적 설계

천장성\*<sup>0</sup> 최승덕\*\* 이홍배\* 정현교\* 양충진\*\*  
\*서울대학교 전기공학과 \*\*산업과학기술연구소

### Optimal Design of Electropermanent Magnetic Lifter

Jang-Sung Chun\*<sup>0</sup> Seung-Dueg Choi\*\* Hong-Bae Lee\* Hyun-Kyo Jung\* Choong-Jin Yang\*\*  
\*Dept. of E.E. Seoul National University \*\*Research Institute of Science and Technology

#### 1. 서 론

자성체를 들어올리기 위한 시스템으로 최근에 선진 외국에서는 영구자석을 이용한 영전식 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 영전식 시스템은 기계적인 측면에서는 전동식이나 유압식보다 전체 무게가 약 30%정도 가벼워 경량화가 가능하고, 또한 전기적인 측면에서는 정전 대비가 필요 없고, 전력 소모가 약 99.5%정도 절감되므로 영전식은 타 방식에 비해 상당한 비용 감소의 효과가 있다. 이러한 영전식 시스템의 해석하기 위한 방법으로 고전적인 등가 자기회로법 및 유한요소법[1]이 사용되고 있다. 본 논문에서는, 자기 등가회로법을 이용하여 흡,탈착시의 운전 특성을 해석하고 이를 유한요소법으로 해석한 결과와 비교한다. 또한 비결정론적 최적화 알고리즘인 Evolution Strategy(ES)[2]를 이용하여 최적의 운전 조건을 만족하는 설계 방법을 제시한다.

#### 2. 본 론

##### [1] 자기 등가회로의 적용

자기 등가회로법은 영구 자석을 기자력원, 자속의 통로를 자기 저항으로 하여 영구 자석 시스템을 전기회로로 등가화시켜 해석하는 방법으로 영구 자석의 내부 저항에 해당하는  $R_m$  는 다음 식(1)과 같다.

$$R_m = \frac{l_m}{\mu_r \mu_0 A_m} \quad (1)$$

여기서,  $A_m$  : 영구자석의 단면적,  $l_m$  : 영구자석의 길이  $\mu_0$  : 공기의 투자율  $\mu_r$  : 각 부분의 비투자율 또한 영구 자석의 등가 기자력원 및 시스템 각 부분의 자기 저항은 식(2),(3)과 같다.

$$F_m = \frac{l_m}{\mu_r} M_r \quad (2) \quad , \quad R = \frac{l}{\mu \cdot A} \quad (3)$$

여기서,  $M_r$  : 영구자석의 자화량  $l$  : 각 부분의 길이  $A$  : 각 부분의 단면적 따라서, 이 자기 등가회로로부터 만들어지는 회로방정식을 전 절점에 대해 구성하게 되면 식 (4)의 연립 방정식이 구성되고 이식을 풀어 시스템 각 부분의 자속 및 자속 밀도, 전자력 등을 계산할 수 있다.

$$[P][F] = [F_m] \quad (4)$$

여기서,  $[P]$  : 퍼미언스 행렬,  $[F]$  : 각 절점에서의 기자력 행렬,  $[F_m]$  : 영구자석의 기자력원 행렬

##### [2] 최적화 알고리즘

ES 는 두개의 최적화 알고리즘 즉, 생물체의 적응 및 진화과정을 모방한 Genetic Algorithm 과 철의 재련과정중의 풀림을 응용한 Simulated Annealing 을 결합한 알고리즘으로서 비결정론적인 알고리즘이지만 빠른 수렴 특성을 갖는다. 이의 최적화 과정은 다음과 같다.

step 1 (초기화) 초기해를 발생한다.

step 2 (재생산) 재생산과정을 통하여 자손을 발생시킨다.

$$X_{ci} = X_{pi} + \alpha_i \cdot R_i \quad (5)$$

여기서,  $\alpha_i$ : 돌연변이 스텝 길이,  $R_i$ : -1 과 +1 사이의 난수

step 3 (선택) 부모와 자식간의 목적함수값을 비교하여 적자생존의 원리에 의해 최적의 해를 선택한다.

$F_p$  과  $F_c$  이 각각  $X_p$  과  $X_c$  에서의 목적함수값일때 다음의 규칙으로 선택한다.

$$X_s = \begin{cases} X_c & : F_c < F_p \\ X_p & : F_c \geq F_p \end{cases} \quad (6)$$

step 4 (플림) 스텝 길이를 변경한다.

$$X_s = \begin{cases} \alpha \cdot 0.85 & : N_n > 10 \cdot \frac{N}{5} \\ \alpha / 0.85 & : N_n \leq 10 \cdot \frac{N}{5} \end{cases} \quad (7)$$

여기서,  $N_{10}$ : 10세대동안 목적함수값이 변화한 수

$N$ : 설계 변수의 총수

step 5 (끝) 조건에 맞는 경우 최적화과정은 끝난다.

본 논문에서는 step 3 에서 목적함수값을 Lifter 운전시의 전자력으로 한다. 그림 3.은 이 알고리즘의 최적화 과정을 도식적으로 표현한 것이다.

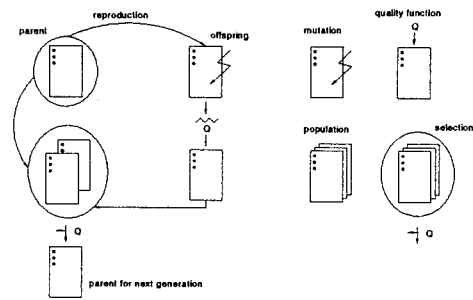


그림 1. ES 의 진화과정

### 3. 해석 결과 및 결론

지금까지 사용되고 있는 Magnetic Lifter 는 여러 가지 모델이 제시되고 있으나, 본 논문에서는 그림 2.(a)의 모델을 해석하였다. 최적화 과정에 필요한 제약 조건은 다음과 같다. 첫째, 전체의 Lifter 크기는 일정하고 둘째, 자석의 잔류 자속밀도는 일정하다.(즉, 자석의 재질은 변함없다.) 그 외의 Lifter 각부의 size 즉, 철심, 자석 등의 치수를 설계 변수로 하여 최적화를 한다. 그리고, 목적 함수값으로는 흡착시의 전자력의 크기를 잡는다. 그림 2.(b)는 최적화된 모델의 플럭스 분포를 나타낸다.

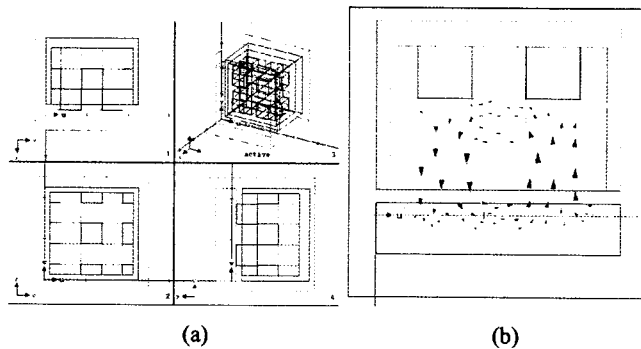


그림 2. 영전식 Magnetic Lifter 의 최적화 모델

본 논문에서는 영전식 Magnetic Lifter 의 전자력을 최적화하는 방법을 제시하였다. 즉, 등가 자기회로법을 사용하여 흡,탈착시의 특성을 해석하고, 이 결과를 최적화 알고리즘에 적용하여 Lifter 각부의 치수가 변할 때 흡착시의 전자력이 최대가 되도록 최적화하였다. 또한 이를 유한요소법의 결과와 비교하여 제시한 방법의 타당성을 확인하였다.

### 4. 참고 문헌

- (1) Yang Qingxin, et. al., "Inverse Problem In Electropermanent Lift Magnet", *COMPUMAG Conf.*, PC1-8, 1995.
- (2) Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, Berlin 1992.