

# 병렬유전 알고리즘을 이용한 영구자석형 액추에이터의 최적설계

論 文

57-1-7

## Optimal Design of Permanent Magnet Actuator Using Parallel Genetic Algorithm

金重經\* · 韓聲鎮† · 李哲均\*\* · 金翰均\*\*\*

(Joong-Kyoung Kim · Sung-Chin Hahn · Cheol-Gyun Lee · Han-Kyun Kim)

**Abstract** - This paper presents an optimal design of a permanent magnet actuator(PMA) using a parallel genetic algorithm. Dynamic characteristics of permanent magnet actuator model are analyzed by coupled electromagnetic-mechanical finite element method. Dynamic characteristics of PMA such as holding force, operating time, and peak current are obtained by no load test and compared with the analyzed results by coupled finite element method. The permanent magnet actuator model is optimized using a parallel genetic algorithm. Some design parameters of vertical length of permanent magnet, horizontal length of plunger, and depth of permanent magnet actuator are predefined for an optimal design of permanent magnet actuator model. Furthermore dynamic characteristics of the optimized permanent magnet actuator model are analyzed by coupled finite element method. A displacement of plunger, flowing current of the coil, force of plunger, and velocity of plunger of the optimized permanent magnet actuator model are compared with the results of a primary permanent magnet actuator model.

**Key Words** : Permanent magnet actuator, Parallel genetic algorithm, optimal design, Coupled finite element method

### 1. 서 론

차단기는 회로에 고장이 발생하였을 때 순간적으로 동작하여 전로나 주요기기를 보호하는 역할을 한다. 가장 최근에 개발된 차단기는 진공을 이용한 진공차단기이며, 전기적·기계적으로 개폐수명이 길고, 소형경량으로서 보수점검의 필요성이 적으며, 저소음, 우수한 절연특성 등의 장점이 있으므로 현재 중·저압 차단기 분야에서 가장 많이 사용되고 있다. 지난 10여 년 동안 중·저압 차단기 분야에서는 스프링에 의한 조작방식을 사용해 왔으나 최근에는 영구자석형 액추에이터의 조작방식으로 전환되고 있다. 전자기적으로 동작하는 영구자석형 액추에이터는 기존의 조작방식보다 동작시간과 제어가 용이하고 부품수의 감소와 신뢰성 및 반복성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 그리고 이 기기의 성능과 품질은 설계, 재질, 가공, 조립기술에 큰 영향을 받으며 특히 설계기술의 비중이 상대적으로 크게 차지한다 [1, 2]. 영구자석형 액추에이터의 설계과정에서 중요하게 고려해야 할 동작특성은 투입 유지력, 투입시 부하전류, 투입·개방 완료시간 등이다. 투입 유지력은 접점간의 접촉 전자반발력을 충분히 견딜 수 있도록 선정되어야 하며, 코일 설계시 고려할 점은 투입동작시 코일의 투입전류와 동작완

료 시간이 설계사양을 만족하도록 해야 한다[3, 4].

본 논문에서는 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소 해석을 이용하여 영구자석형 액추에이터 모델의 동특성을 해석하였다. 그리고 영구자석형 액추에이터 모델의 투입 유지력 시험과 무부하 상태 특성시험을 통해 얻은 동특성을 유한요소해석 결과와 비교·검토함으로써 해석기법의 타당성을 검증하였다. 또한 영구자석형 액추에이터 모델의 가동자 체적 최소화를 목적으로 최적설계를 수행하였다. 코일의 저항과 투입 유지력을 제한함수로 정하고 영구자석의 높이, 가동자의 폭, 영구자석형 액추에이터의 축방향 깊이를 설계 변수로 하여 최적설계를 하였다. 설계변수의 최적화를 위하여 확률론적 기법인 유전 알고리즘 중 하나인 병렬유전 알고리즘을 이용하였다[5]. 이를 바탕으로 최적화된 영구자석형 액추에이터의 동특성을 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소해석을 통해 시간에 따른 가동자의 변위, 시간에 따른 전류, 시간에 따른 가동자에 미치는 힘, 시간에 따른 가동자의 속도 등을 파악하였다[6]. 또한 초기 영구자석형 액추에이터 모델의 동특성과 비교함으로써 최적설계의 타당성을 검증하였다.

### 2. 영구자석형 액추에이터의 무부하 특성시험

영구자석형 액추에이터의 설계과정에서 중요하게 고려해야 할 투입 유지력, 투입시 부하전류, 투입·개방 완료시간 등과 같은 동작특성을 실제 영구자석형 액추에이터 모델을 이용하여 특성시험을 하였다. 또한 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소해석을 이용하여 얻은 영구자석형 액추에이터 모델의 동특성 결과와 비교·검토함으로써 해석기법의 타당성을 검증하였다.

\* 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 博士課程

† 교신저자, 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : schahn@dau.ac.kr

\*\* 正 會 員 : 東義大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 日進電氣(株) 重電機技術研究所 研究員  
接受日字 : 2007年 8月 23日  
最終完了 : 2007年 12月 6日

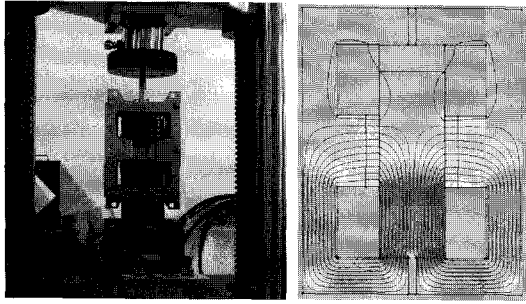


그림 1 투입 유지력 시험 및 유한요소해석  
 Fig. 1 Holding force test and finite element analysis

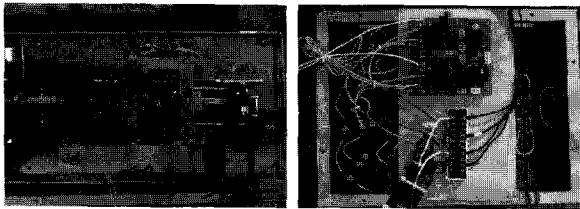


그림 2 무부하 특성시험 장치  
 Fig. 2 System of no load characteristic test

그림 1은 영구자석형 액추에이터 모델의 투입 유지력 시험 및 유한요소해석 결과이다. 투입 유지력 측정 장치를 이용해 얻은 영구자석형 액추에이터 모델의 투입 유지력은 290[kgf]이며, 유한요소해석을 이용해 얻은 투입 유지력은 311[kgf]로써 측정값과 약 7%의 오차를 가진다.

그림 2는 무부하 상태에서 영구자석형 액추에이터 모델의 특성시험을 하기위한 장치이다. 무부하 특성시험을 통해 영구자석형 액추에이터 모델의 동작완료시간과 peak 전류를 측정한다. 동작완료시간은 차단기의 차단 성공과 실패를 결정하는 중요한 요소가 되며, peak 전류는 차단기의 제어장치를 구성하는데 있어서 필요한 요소가 된다.

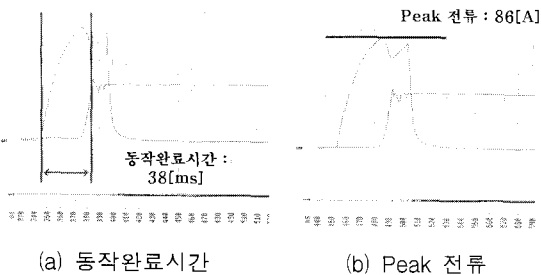


그림 3 무부하 특성의 측정  
 Fig. 3 Measurement of no load characteristic

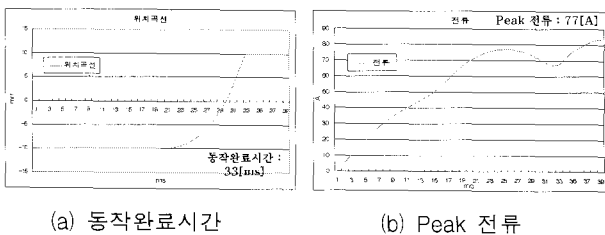


그림 4 무부하 특성의 유한요소해석  
 Fig. 4 Finite element analysis of no load characteristic

그림 3은 무부하 특성시험 장치를 이용해 측정된 영구자석형 액추에이터 모델의 동작완료시간과 peak 전류의 파형이다. 그리고 그림 4는 2차원 유한요소해석을 이용해 얻은 영구자석형 액추에이터 모델의 동작완료시간과 peak 전류의 파형이다. 그림 3에서 보듯이 영구자석형 액추에이터 모델의 측정된 파형을 살펴보면 동작완료시간은 38[ms]이고, peak 전류는 86[A]이다. 이에 반해 유한요소해석을 이용해 얻은 파형을 살펴보면 동작완료시간은 33[ms]이고, peak 전류는 77[A]로써 측정값과 약 10%정도의 오차를 가진다. 이는 영구자석형 액추에이터 모델의 유한요소해석시 실제 재질값이 아닌 유사 재질값을 이용하였고, 가동자 동작시 마찰과 베어링 마찰을 고려하지 않았기 때문이다.

### 3. 병렬유전 알고리즘

본 논문에서는 영구자석형 액추에이터 모델의 최적설계를 위하여 제한함수와 설계변수를 정하고 최적화를 수행하였다. 최적설계를 위하여 사용되어진 알고리즘은 유전 알고리즘의 단점을 보완한 병렬유전 알고리즘을 이용하였다.

#### 3.1 병렬유전 알고리즘

유전 알고리즘은 유전학과 자연진화를 모방한 적응 탐색 방법으로 초기집단을 형성하고, 염색체들의 강점과 약점이 적합도 항목으로 평가되며, 이때 각 염색체는 목적함수로 인해 적합도가 계산된다. 재생산은 적합도 값에 따라 더 적합한 개체들을 선택하여 다음 세대의 집단을 형성하며, 교배는 개체들 사이의 정보교환이 가능하게 하며, 돌연변이는 유전자를 임의로 변경하여 집단에 변화를 도입한다. 하지만 유전 알고리즘은 유전적 다양성 유지와 계산 부담에 대한 어려움이 있다. 작은 집단의 경우에는 연산시간이 짧아지지만 해를 탐색할 능력이 줄어들고, 큰 집단의 경우에는 유전적 다양성은 확대되어 좋은 해를 찾을 수 있지만 계산량이 급격히 많아지게 된다. 이를 보완하기 위해서 병렬유전 알고리즘은 여러 개의 점에서 동시에 해를 탐색한다. 이를 병렬로 전개되는 특성으로부터 유전 알고리즘에 병렬처리를 적용할 수 있다. 병렬유전 알고리즘은 기존 유전 알고리즘의 단일 모집단을 여러 개의 부분 모집단으로 나누어 격리시키고, 서로 격리된 각 부분 모집단이 독립적이면서 병렬적으로 진화해 가는 유전 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 순차적인 처리를 목적으로 하는 간단한 구조의 알고리즘으로 병렬처리에 적합한 알고리즘이다. 병렬유전 알고리즘은 다수의 프로세서를 사용하는 경우에 적합하지만 단일 프로세서만으로도 구현이 가능하며 유전 알고리즘의 성능을 보다 향상시킬 수 있다.

#### 3.2 병렬유전 알고리즘의 구조

유전 알고리즘의 병렬화에 관한 연구는 Grefenstette에 의해 연구되었으며 병렬유전 알고리즘의 3가지 모델을 제시하였다. 유전 알고리즘의 병렬화를 위한 방법으로는 전역모델, 이주모델, 확산모델이 있다[7]. 본 논문에서는 이주모델을 채택하였으며, 이는 단일 프로세서뿐만 아니라 분산 네트워크 환경에서도 모델의 구현이 가능하기 때문이다. 또한 이주모델은 Coarse-Grain이라는 용어로도 사용되고 있다. 이주모

텔에는 완전네트구조, 링구조, 이웃이주구조의 3가지 모델이 있으며, 본 논문에서는 그림 5와 같이 어느 한 방향으로 인접한 집단끼리만 개체들이 전달되는 링구조의 이주모델을 이용하였다.

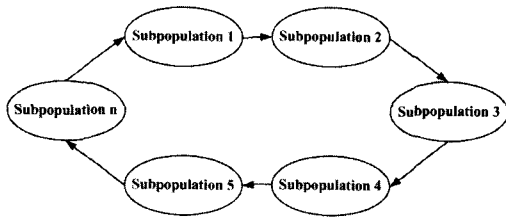


그림 5 이주모델  
Fig. 5 Migration model

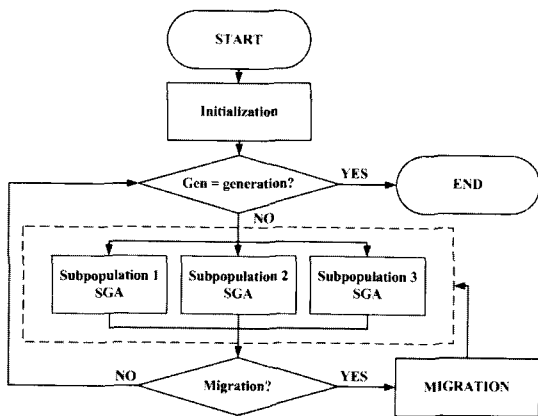


그림 6 병렬유전 알고리즘의 이주모델 흐름도  
Fig. 6 Flow chart of migration model of PGA

그림 6은 병렬유전 알고리즘 이주모델의 흐름도이다. 이주모델은 여러 소집단으로 나누어 각 소집단별로 독자적인 유전 알고리즘을 실행한다. 재생산 교배는 전역적으로 이루어지지 않고 소집단 내에서 국지적으로 이루어진다. 이로 인해 유전 탐색능력이 저하되는 결과를 초래한다. 이런 단점을 막기 위해 각 소집단 해의 교환인 이주를 실시한다. 소집단간의 이주를 통해 지역 최적해에 수렴률을 줄이고 전체 최적해에 잘 접근할 수 있게 한다. 그러나 해를 많이 이주할 경우 여러 소집단이 유사한 형태로 진화하게 되므로 해의 다양성을 잃게 되어 탐색능력이 저하되고, 반대로 해를 적게 이주할 경우 소집단이 독립적으로 동작하여 연산의 국지화를 초래하여 지역 최적해로의 조기 수렴이 일어날 수도 있다. 본 논문에서는 소집단의 크기를 3개로 잡고 이주주기, 이주율 등을 적절히 조합하여 영구자석형 액추에이터 모델에 대한 설계변수들의 최적화를 수행하였다.

#### 4. 영구자석형 액추에이터 최적설계변수

영구자석형 액추에이터 모델을 최적설계하기 위해 최적설계시 목적함수를 영구자석형 액추에이터 모델의 소형·경량화와 고성능을 위한 가동자의 제적 최소화로 선정하였다. 제한조건으로서 영구자석형 액추에이터 모델의 성능을 고려하여 실제 모델의 가동자가 받는 힘을 제한조건으로 사용

하였고, 또한 코일의 저항은 영구자석형 액추에이터를 구동하는 제어시스템의 안정성과 가격을 고려하여 허용범위 내의 값(0.1Ω 이상)으로 제한하였다. 이에 따른 영구자석형 액추에이터 모델의 설계변수로는 영구자석형 액추에이터 성능에 직접 관련되는 영구자석의 높이(x1), 가동자의 폭(x2), 영구자석형 액추에이터의 축방향 길이(x3)를 설계변수로 선정하였다. 그림 7은 최적설계를 위한 영구자석형 액추에이터 모델의 설계변수이다.

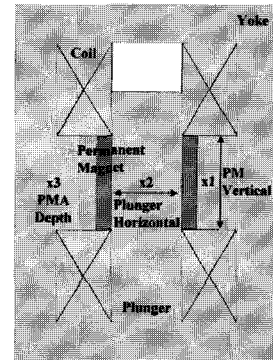


그림 7 영구자석형 액추에이터의 설계변수  
Fig. 7 Design parameters of permanent magnet actuator

#### 5. 영구자석형 액추에이터 최적설계

영구자석형 액추에이터 설계변수의 최적화를 위하여 본 논문에서는 병렬유전 알고리즘을 이용하였다. 전세대수는 150세대이고, 집단은 3집단으로 구성되며, 각 집단별 개체수는 20개체이다. 그림 8은 병렬유전 알고리즘을 이용한 영구자석형 액추에이터 설계변수의 최적설계 흐름도이다.

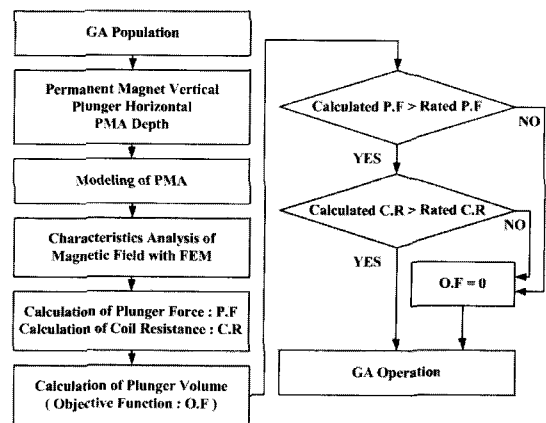


그림 8 최적설계 흐름도  
Fig. 8 Flow chart of optimal design

그림에서 보듯이 최적설계 알고리즘을 통해 영구자석의 높이, 가동자의 폭, 영구자석형 액추에이터의 축방향 길이의 각 설계변수들을 생성하고, 설계변수들을 통해 영구자석형 액추에이터 모델을 모델링한다. 2차원 유한요소해석을 이용하여 제한조건인 영구자석형 액추에이터 모델의 가동자가 받는 힘과 코일의 저항을 계산한다. 다음으로 목적함수인

영구자석형 액추에이터의 소형·경량화를 위한 가동자의 체적을 계산하고, 계산된 가동자가 받는 힘과 코일의 저항을 제한조건과 비교한다. 이때 가동자가 받는 힘과 코일의 저항이 만족하는 범위에 들지 못하는 경우 목적함수인 가동자의 체적을 zero로 하여 최적화 연산수행시 그 값이 선택되지 않도록 한다.

그림 9는 병렬유전 알고리즘을 이용한 영구자석형 액추에이터 모델의 최적설계시 세대수에 따른 목적함수의 수렴결과를 나타내고 있다. 약 75세대에서 최적설계의 목적함수인 가동자의 체적이 최적화됨을 알 수 있다.

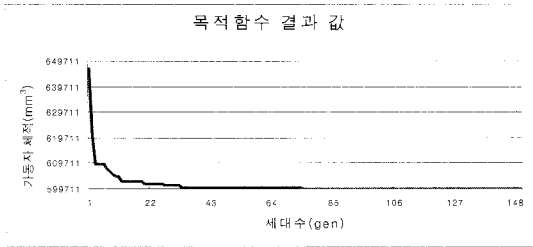
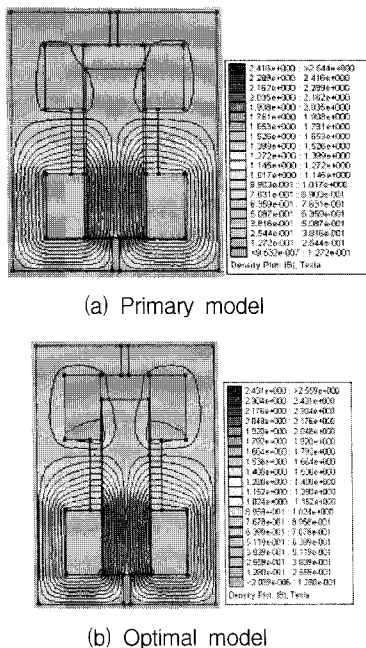


그림 9 목적함수 수렴특성

Fig. 9 Convergence characteristic of object function

그림 10은 기존 영구자석형 액추에이터 모델과 병렬유전 알고리즘을 이용하여 최적설계된 영구자석형 액추에이터 모델의 형상 및 자속분포를 나타내고 있다. 표 1에는 기존 모델과 최적설계된 모델의 설계변수, 제한조건, 목적함수의 변화를 비교하였다. 그림 10과 표 1을 통해 최적설계의 목적함수인 영구자석형 액추에이터 모델의 가동자 체적은 최소화하면서 기존 모델과 동일한 힘을 가질 수 있는 영구자석형 액추에이터의 최적설계가 수행되었음을 알 수 있다. 이는 영구자석형 액추에이터 제작시 제작비용을 줄일 수 있으며, 또한 가동자의 체적 감소로 차단시간을 개선할 수 있다.



(a) Primary model

(b) Optimal model

그림 10 영구자석형 액추에이터의 자속분포  
Fig. 10 Flux distribution of permanent magnet actuator

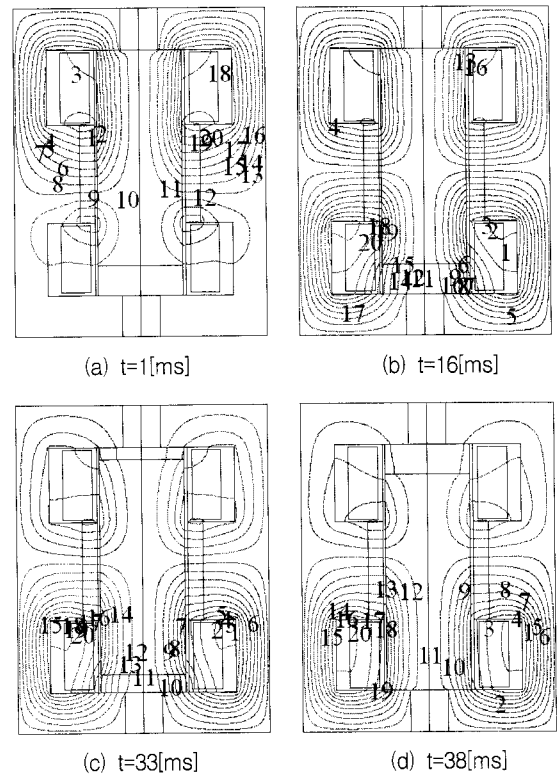
표 1 영구자석형 액추에이터 모델의 최적설계

Table 1 Optimal design of permanent magnet actuator

구 분	설계변수			제한조건		목적함수
	자극 높이 (x1)	가동자 폭 (x2)	축방향 길이 (x3)	가동자 힘 [N]	코일 저항 [ $\Omega$ ]	가동자 체적 [ $\text{mm}^3$ ]
기존 모델	54.0	46.00	100.0	5829	1.46	649520
최적설계 모델	58.5	41.2	99.97	5829	1.42	599711

6. 최적설계된 영구자석형 액추에이터의 동특성

병렬유전 알고리즘을 이용하여 최적설계된 영구자석형 액추에이터의 동특성을 알아보기 위하여 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소해석을 이용하였다. 그림 11은 최적설계된 영구자석형 액추에이터 모델의 시간에 따른 가동자 위치와 자속분포를 나타내고 있다. 그림 11(a)는 여자전류가 투입된 순간의 가동자 위치로서 영구자석에 의해 가동자가 위쪽에 고정되어 있다. 그러나 제어부로부터 여자전류가 증가함에 따라 그림 11(b), (c)처럼 자속분포가 변하게 되고, 가동자는 아래쪽으로 이동하게 된다. 그림 11(d)는 가동자의 동작이 완료된 시점의 자속분포로 영구자석에 의해 가동자의 동작완료 상태를 유지하게 된다.



(a) t=1[ms]

(b) t=16[ms]

(c) t=33[ms]

(d) t=38[ms]

그림 11 최적설계된 영구자석형 액추에이터의 자속분포  
Fig. 11 Flux distribution of optimal PMA model

### 6.1 시간에 따른 가동자의 변위

그림 12는 기존 영구자석형 액추에이터 모델과 최적설계된 영구자석형 액추에이터 모델의 시간에 따른 가동자의 변위를 나타내고 있다. 코일에 전압을 인가하면 전류가 시간에 따라 증가하게 되고, 특정 전류값에서 가동자가 움직이기 시작한다. 이는 전류에 의해 발생한 자속이 증가하게 되고 가동자의 상태를 유지하고 있던 영구자석의 자속과는 반대 방향으로 힘을 미치게 되어, 전류에 의한 기자력이 영구자석의 기자력보다 크게 되는 순간 가동자가 반대방향으로 움직인다. 그러나 그림에서 보듯이 최적설계된 모델의 차단완료 시간이 기존 모델에 비해 조금 늦음을 알 수 있다. 이는 본문에서 영구자석형 액추에이터의 소형·경량화와 고성능을 위한 가동자 체적 최소화를 목적함수로 설정함으로써 영구자석의 최적화를 고려하지 않았기 때문이다.

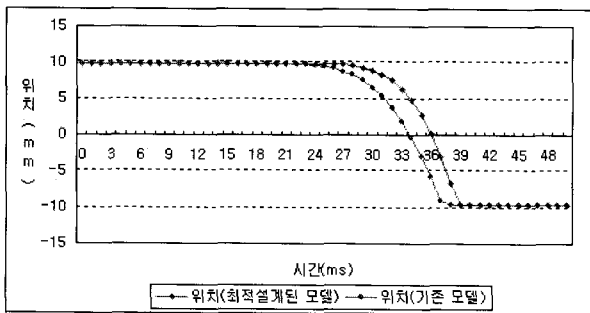


그림 12 시간에 따른 가동자의 변위  
Fig. 12 Position of plunger versus time

### 6.2 시간에 따른 전류

그림 13은 시간에 따른 전류의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 기존 모델에 비해 최적설계된 모델의 전류가 훨씬 줄어들음을 알 수 있다. 이는 영구자석형 액추에이터를 제어하는 제어장치의 설계에 있어서 중요한 설계변수가 된다. 왜냐하면 영구자석형 액추에이터 코일에 인가되는 peak 전류에 따라 제어장치를 구성하는 소자들의 용량이 결정되기 때문이다.

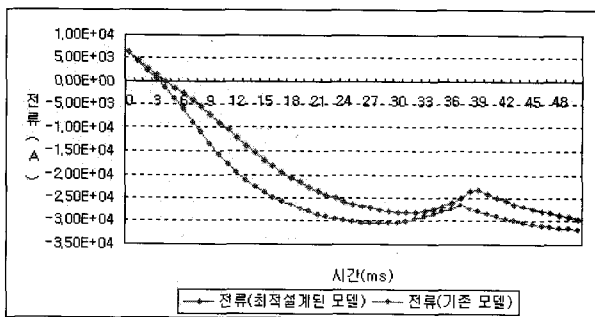


그림 13 시간에 따른 전류  
Fig. 13 Current versus time

### 6.3 시간에 따른 가동자에 미치는 힘

영구자석형 액추에이터는 개방 또는 투입상태에서 영구자석의 기자력으로 인하여 현재 상태를 유지하게 된다. 이때

사고전류를 감지하고 영구자석형 액추에이터의 코일에 전류가 인가되면 전류에 의한 자속이 발생하고, 전류에 의한 기자력이 영구자석의 기자력보다 크게 되는 순간 가동자가 반대방향으로 움직인다. 가동자가 움직이면 그때부터 압점력이 작용하는데 이로 인해 가동자에 미치는 힘이 갑자기 증가가 된다. 하지만 속도를 고려해보면 가동자는 계속 같은 방향으로 움직이고 결국에는 힘도 양수가 된다. 그림 14에서 보듯이 기존 모델의 차단완료시 힘이 2200[N] 정도인데 비해 최적설계된 모델의 힘은 3400[N] 정도로 매우 큰 힘을 가짐을 알 수 있다.

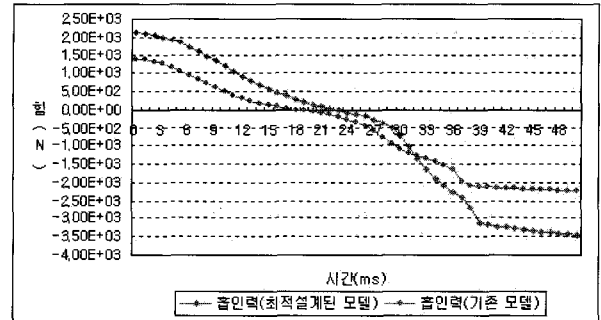


그림 14 시간에 따른 가동자에 미치는 힘  
Fig. 14 Plunger force versus time

### 6.4 시간에 따른 가동자의 속도

그림 15는 시간에 따른 가동자의 속도를 나타내고 있다. 두 영구자석형 액추에이터 모델의 차단시간은 비슷하지만 가동자의 속도는 최적설계된 모델이 기존 모델보다 훨씬 빠른 것을 알 수 있다. 차단기의 조작기가 가지는 속도조건은 접점부의 압점력보다 우세한 속도와 접점부 전극에서 요구하는 속도를 만족해야한다. 이 요구조건은 압점력이 미치기 직전까지의 가동자 속도이므로 시간에 따른 가동자 속도를 고려하여 설계해야한다.

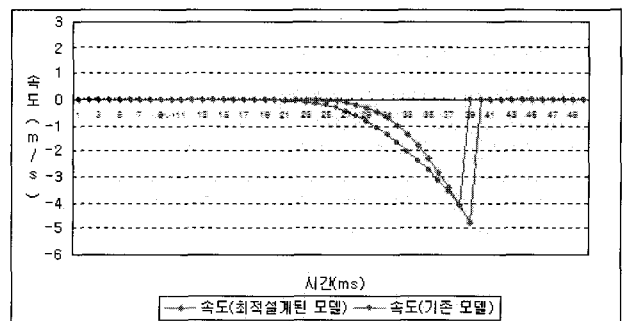


그림 15 시간에 따른 가동자의 속도  
Fig. 15 Velocity of plunger versus time

## 7. 결 론

본 논문에서는 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소 해석을 이용하여 영구자석형 액추에이터 모델의 동특성을 파악하고, 무부하 특성시험을 통해 해석기법의 타당성을 검증하였다. 또한 해석 모델의 가동자 체적 최소화를 목적으

로 최적설계를 수행하였다. 영구자석형 액추에이터 모델의 코일저항과 투입 유지력을 제한함수로 정하고, 설계변수로는 영구자석 높이(x1), 가동자 폭(x2), 영구자석형 액추에이터의 축방향 길이(x3)로 하였다. 설계변수의 최적화를 위하여 확률론적 기법인 유전 알고리즘의 하나인 병렬유전 알고리즘을 이용하였다. 최적설계된 영구자석형 액추에이터 모델의 정상상태 및 동특성을 전자계-기계계를 결합한 2차원 유한요소해석을 이용하여 파악하였다. 시간에 따른 가동자의 변위, 전류, 가동자에 미치는 힘, 가동자 속도 등을 기존 영구자석형 액추에이터 모델과 비교·검토함으로써 차단시간을 제외한 다른 동특성들의 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 이에 본 논문에서 제시한 병렬유전 알고리즘을 이용한 최적설계 기법은 새로운 용량 및 목적에 알맞은 차단기 조작기의 설계 및 동특성 파악에 용이할 것으로 기대된다.

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2007-2-060) 주관으로 수행된 과제임.

**참 고 문 헌**

[1] 여운동, 정의섭, 박경엽, "2003년 기술산업정보분석 : 초고압 GIS", 한국과학기술정보연구원, 2003.

[2] S.A. Evans, I.R. Smith, "Static and dynamic analysis of a permanent magnet rectilinear laws' relay actuator", IEE Proc-Elec. Power, Vol. 146, No. 1, pp.11~16, 1999.

[3] Thomas E. Browne, Jr., "Circuit Interruption", Marcel Dekker Inc, 1984.

[4] K. Srairi, "Numerical coupling models for analyzing dynamic behaviors of electromagnetic actuators", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 5, 1998.

[5] F. Bellina, O. Camprostrini, G. Chrrarin, "Automated Optimal Design Techniques for Inverse Electromagnetic Problems", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 28, pp.1549~1552, 1992.

[6] T. Nehl, A. Pawlak, "Transient Finite Element Modeling of Solenoid Actuators the Coupled Power Electronics, Mechanical and Magnetic Field Problem", IEEE Transaction on Magnetics, No. 24, pp.270~273, 1988.

[7] 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2000.

[8] Z. Ren, A. Razek, "A Strong Coupled Model for Analysing Dynamic Behaviours of Non-linear Electromechanical System", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 30, No. 5. pp.3252~3255, Sep., 1994.

[9] 최명준, 석복열, 김창욱, "자기 액추에이터를 이용한 진공차단기 구동 메카니즘 개발", KIEE, Vol. 52B, No. 8, pp.381~389, 2003.

[10] Song-Min Wang, "Electromagnetic Field Analysis and Dynamic Simulation of a Two-Valve Solenoid Actuator", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 29, No. 2, March, 1993.

**저 자 소 개**



**김 중 경 (金 重 經)**

1976년 9월 9일생. 2002년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 ~ 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : 051-200-6946  
Fax : 051-200-6947  
E-mail : jkkim@donga.ac.kr



**한 성 진 (韓 聲 鎭)**

1955년 6월 27일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983년 3월 ~ 현재 동아대 전기공학과 교수.  
Tel : 051-200-7737  
Fax : 051-200-6947  
E-mail : schahn@dau.ac.kr



**이 철 균 (李 哲 均)**

1967년 1월 28일생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1999년 ~ 현재 동의대 전기공학과 부교수.  
Tel : 051-890-1672  
Fax : 051-890-1664  
E-mail : cglee@deu.ac.kr



**김 한 균 (金 翰 均)**

1978년 2월 22일생. 2004년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 3월 ~ 현재 일진전기(주) 중전기기술연구소 연구원.  
Tel : 031-220-0681  
Fax : 031-220-0659  
E-mail : hkkim@iljin.co.kr