

# 신경회로망과 FEM을 이용한 가동 영구자석형 리니어 액츄에이터의 성능 향상에 관한 연구

論文

53B-2-1

## The Improvement of Efficiency Performance for Moving Magnet Type Linear Actuator Using the Neural Network and Finite Element Method

曹誠皓\* · 金德顯\*\* · 金奎卓\*\*\*  
(Sung-Ho, Cho · Duk-Hyun, Kim · Gyu-Tak Kim)

**Abstract** - This paper presents an approach to optimum design of Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator(MM-LOA). The Finite Element Method is applied to calculate parameters for characteristic analysis, and in order to reduce modeling time and efforts, the moving model node technique is used. In addition, the neural network is used to reduce computational time of analysis according to changing design variable. To confirm the validity of this study, optimum design results are compared with results of analysis procedure that is verified by experiment.

**Key Words** : Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator(MM-LOA), moving model node technique, the neural network, optimum design

### 1. 서 론

진공 펌프, 섬유기기, 압축기(compressor)와 같은 소변위 왕복운동을 필요로 하는 시스템의 구동원으로서 유압, 공압을 이용한 기계식 액츄에이터나 회전형 전동기가 널리 이용되어 왔다. 그러나 회전형 전동기를 이용하는 경우에는 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위한 캠, 기어 등의 기계적 동력 전달 장치가 반드시 필요하며, 이러한 동력 변환 메커니즘으로 인하여 효율저하, 소음, 진동의 발생은 물론 고속화, 경량화에도 한계를 가질 수 밖에 없다. 따라서 소변위 왕복 운동 시스템의 구동용 전동기로 선형 진동 액츄에이터(Linear Oscillatory Actuator : LOA)에 대한 관심이 고조되고 있다 [1].

LOA는 가동자의 종류에 따라 가동 코일형, 가동 영구자석형, 가동 철심형 등의 종류가 있으며 시스템이 요구하는 특성에 따라 그 종류가 선정되어야 한다.

가동 코일형 LOA는 원리나 구조면에 선형 직류전동기와 동일하며 작용하는 힘이 전류력이므로 정밀성 및 제어응답성이 높은 장점을 가지고 있으나 가동자 코일에 전원을 공급해야 하므로 구동 코일의 내구성, 피로에 의한 파손 등의 단점으로 고속 운전에 한계가 있다. 따라서 진공 펌프와 같은 정밀성 및 제어 응답성을 크게 요구하지 않은 시스템의 경우 가동자의 무게가 적어 관성이 작고, 가동 코일형의 단점인 리

드선의 피로 등이 없어 고속운전에 적합함은 물론 상용 전원을 그대로 이용할 수 있는 가동 영구자석형 LOA가 적합한 구동원이다[2].

본 논문에서는 25[W]급 진공 펌프용으로 적합한 가동 영구자석형 LOA(Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator : MM-LOA)의 최적설계 방안을 제시하였다.

최적화 기법으로 신경회로망을 사용하였고, 신경회로망 학습을 위한 샘플 데이터는 2차원 유한요소해석을 통해 구하였으며 설계변수의 변화에 따른 형상변화를 보다 효과적으로 대처하기 위해 모델절점이동기법 (moving model node technique)을 이용하여 재모델링하는 시간을 단축하였다. 그리고, 제시된 최적화 기법의 타당성을 검증하기 위해 신경회로망을 이용한 추정값을 유한요소해석을 이용한 결과값과 비교하였다.

### 2. MM-LOA

#### 2.1 MM-LOA의 구조 및 특징

그림 2.1은 설계하고자 하는 MM-LOA의 기본구조를 나타낸 그림이다. 이러한 구조는 형상이 간단하여 제작이 용이하고 자기회로의 경우 대칭 평형 구조이므로 이동변위의 중심이 한쪽으로 치우치는 편심작용이 발생하지 않은 이점이 있다[3]. 또한, 상용전원을 사용하는 경우에는 운전 주파수가 상용 전원의 주파수가 되므로 60[Hz]가 된다. 이러한 경우 MC-LOA는 가동자인 코일의 무게 때문에 기계적인 요구 추력이 커지게 되어 기계의 부피도 커지게 된다. 그리고 가동자인 코일에 급전이 되므로 손상 우려가 높아 압축기나 진공 펌프 시스템의 구동원으로는 적합하지 않다.

따라서 진공 펌프와 같은 정밀성 및 제어응답성을 크게 요

\* 準 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 碩士課程  
\*\* 正 會 員 : 安東情報大學 電氣科 助教授 · 工博  
\*\*\* 正 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
接受日字 : 2002年 12月 30日  
最終完了 : 2003年 11月 24日

구하지 않은 시스템의 경우 가동 영구자석형 LOA가 최적의 구동원이라 할 수 있다. 철손을 줄이기 위해 코어부는 얇은 강판을 성층하였다. 영구자석은 잔류자속밀도가 0.4[T]인 Ferrite 계열을 사용하였다.

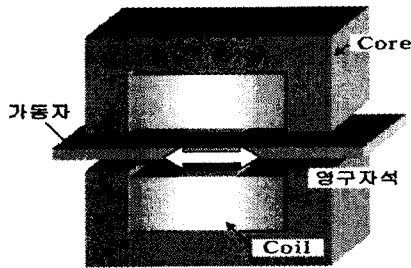


그림 2.1 MM-LOA의 구조  
Fig. 2.1 The structure of MM-LOA

표 2.1에 가동 코일형과 가동 영구자석형의 특성을 나타내었으며, 실제 사진은 그림 2.2와 같다.

표 2.1 가동 코일형 및 가동 영구자석형의 비교  
Table 2.1 The comparison of MC-type and MM-type LOA

	장점	단점
가동 코일형	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 정밀성</li> <li>▷ 제어용답성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 구동코일의 내구성</li> <li>▷ 고속 운전의 한계</li> </ul>
가동 영구자석형	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 고속운전에 적합</li> <li>▷ 코일의 파손이 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 역기전력에 의한 감자</li> </ul>

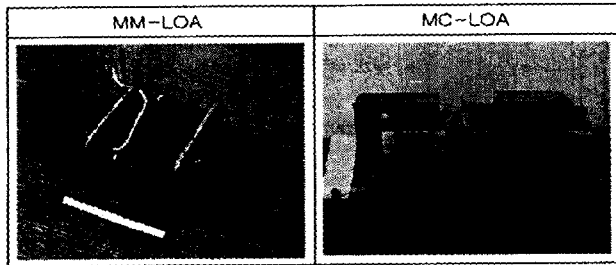


그림 2.2 MM-LOA와 MC-LOA의 실제 사진  
Fig. 2.2 The photograph of MM-LOA and MC-LOA

### 2.2 MM-LOA의 설계

설계하고자 하는 MM-LOA의 설계사양은 표 2.2와 같다.

표 2.2 설계사양  
Table 2.2 The design specification

전원	전원주파수	요구추력	요구이동변위
AC 110[V]	60[Hz]	25[W]	±2.5[mm]

본 논문에서 MM-LOA의 설계는 그림 2.3과 같이 퍼미언스법을 이용하여 영구자석 및 공극사양을 결정하고, 철심의 두께를 산정한 후, 유한요소해석을 수행하여 적정한 파라미터의 값을 구하였다.

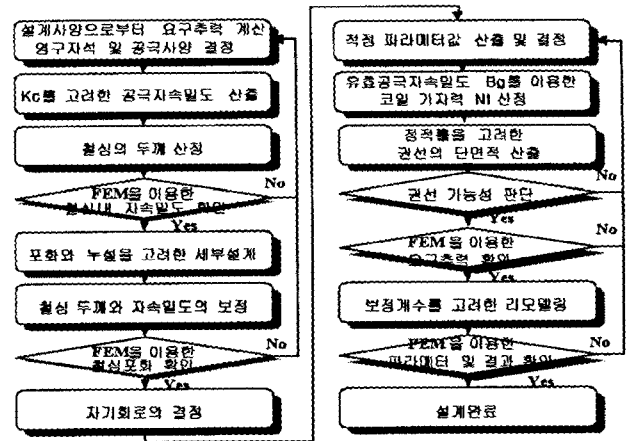


그림 2.3 MM-LOA의 설계과정  
Fig. 2.3 Design process of MM-LOA

그림 2.4 및 2.5의 인덕턴스 및 역기전력은 에너지법 및 쇄교를 이용하여 계산하였다[7]. 인덕턴스 특성은 가동자 이동 방향에 따른 차이가 없으며, 이동변위에 관계없이 거의 일정하게 나타나고 있다. 이는 자기회로가 평형으로 구성되어 가동자 이동변위에 따른 코일 기자력이 거의 일정하게 작용하고 있기 때문이다. 그림 2.4의 인덕턴스의 실험값과 FEM 해석값이 오차가 다소 발생하는 것은 엔드코일 부분의 보정계수를 정확히 산정하기 어렵었기 때문에 발생한 오차라 사료된다.

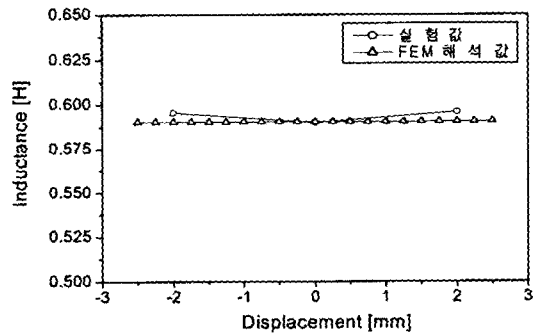


그림 2.4 설계된 MM-LOA의 인덕턴스 특성  
Fig. 2.4 Inductance characteristic of MM-LOA

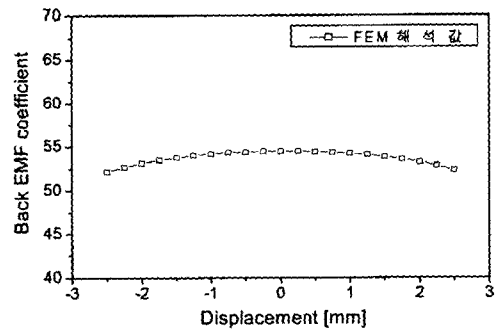


그림 2.5 설계된 MM-LOA의 역기전력상수 특성  
Fig. 2.5 Back EMF coefficient characteristic of MM-LOA

그림 2.6과 표 2.3은 설계된 모델의 치수와 사양을 나타낸 것이다.

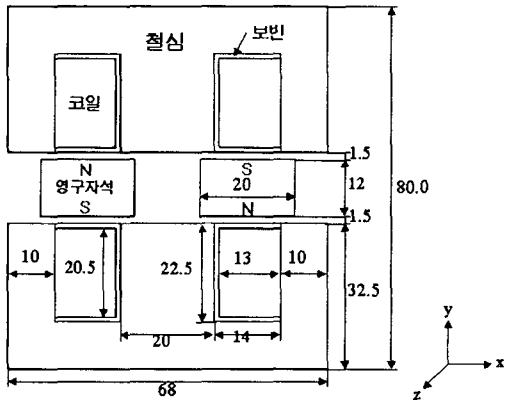


그림 2.6 MM-LOA 설계 모델의 치수 [단위:mm]  
Fig. 2.6 Dimension of MM-LOA design model [unit:mm]

표 2.3 MM-LOA 설계 모델의 사양  
Table 2.3 Specification of MM-LOA design model

항 목		값	단 위
철 심	치폭	0.01	m
	슬롯폭	0.014	m
영 구 자 석	잔류자속밀도	0.4	T
	크기	0.02×0.042×0.012	m <sup>3</sup>
	recoil permeability	1.05	
코 일	턴 수	2150	턴
	저항	103.31	Ω
	피복포함 지름	0.34	mm
	도체 단면적	0.066	mm <sup>2</sup>
기계적 공극		0.0015	m

### 2.3 해석방법의 타당성 검토

시작기를 통해 설계 및 특성해석의 타당성을 입증하기 위하여 MM-LOA를 제작하였다. 그림 2.7은 진공펌프용 MM-LOA의 시작기의 실제 사진을 나타낸 것이다.

가동자 변위를 측정하기 위해 변위센서(Penny Giles SLS 130)를 가동자에 연결하여 센싱하였고 변위센서의 신호를 A/D converter를 통해 변환, 연산하여 변위를 측정하였으며

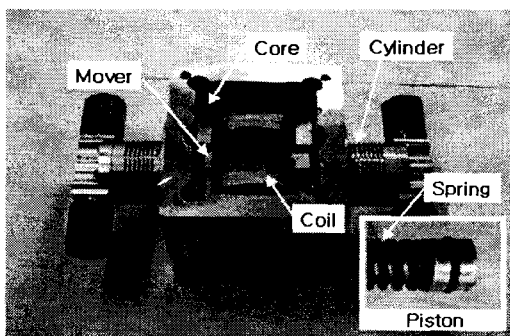
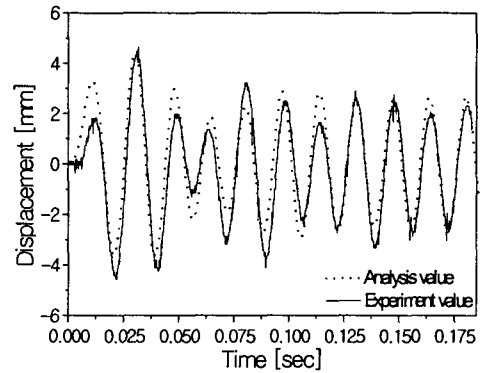


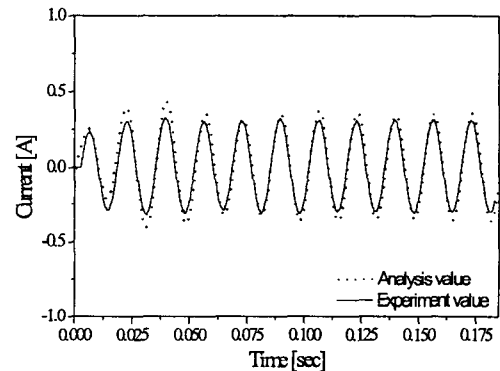
그림 2.7 진공펌프용 MM-LOA의 시작기  
Fig. 2.7 The test machin of MM-LOA

전류도 동시에 측정하였다. 여기서, MM-LOA에 입력되는 전압 및 주파수는 상용전원(AC 110[V], 60[Hz])으로 하였다.

그림 2.8은 MM-LOA의 특성해석치와 실험치를 비교하여 나타낸 것이다. 전압인가 후 약 0.125초이후 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 초기 과도상태에 발생하는 실험치의 시간 지연은 변위센서와 가동부의 연결부에 의한 지연때문이라 사료된다. 실험 결과, 전류 및 변위특성이 해석치와 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서 MM-LOA의 설계 및 특성해석방법의 타당성을 실험으로 입증하였다.



(a) 변위특성



(b) 전류특성

그림 2.8 시작기의 동특성 실험결과

Fig. 2.8 Dynamic characteristic of the test machine

### 3. 신경회로망에 의한 최적설계

최적화는 주어진 설계변수의 수와 변화에 따라 목적함수 값과 제약함수 값들을 구하는 과정이 많이 필요하다. 따라서 만일 유한요소법을 이용하여 목적함수 및 제약함수를 직접 계산하게 되면 최적설계변수의 산출에 있어 상당한 시간이 소요된다. 그러나, 학습된 신경회로망에 의하여 최적화 과정에서 변화하게 되는 설계변수들에 대한 목적함수 및 제약함수 값들을 추정하여 구하면 유한요소법에 비하여 계산 시간을 많이 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 설계변수에 의해 결정되는 해석영역에 대하여 재 모델링 및 요소분할을 할 필요가 없는 장점이 있다.

본 논문에서는 최적화 문제에 많이 이용되는 신경회로망을 이용하여 MM-LOA의 최적화 설계를 진행하였다. 신경회로

망을 학습시키기 위한 데이터는 유한요소해석으로부터 구하였고 그 과정은 그림 3.1과 같다.

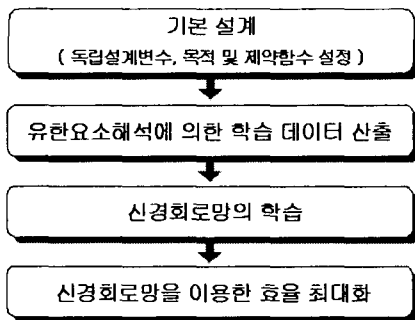


그림 3.1 제안된 최적화기법의 흐름도  
Fig. 3.1 Flow chart of the design technique

3.1 설계변수와 목적함수의 선정

회전형 전동기에 비해 짧은 stroke를 왕복 운동하는 LOA를 이용하는 경우에는 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위한 캠, 기어 등의 기계적 동력변환 장치가 필요치 않은 장점이 있으나 LOA 단체의 효율이 낮다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서의 목적함수는 초기의 설계사양을 만족하면서 입력력을 최소화시켜 효율이 최대화 되도록 하였다. 이를 식 (3.1)에 나타내었다.

$$efficiency = \frac{v \cdot F}{VI} \quad (3.1)$$

여기서,  $v$ 는 가동자의 속도,  $F$ 는 발생추력,  $V$ 는 입력 전압,  $I$ 는 입력전류이다.

효율에 영향을 미치는 설계 변수는 고정자도체 단면적, 슬롯내의 도체수, 슬롯의 크기, 도체의 재질, 축방향 길이, 철심의 종류 및 두께, 스트로크부 마찰부, 영구자석 길이 및 두께, 치폭 등 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 슬롯 크기, 영구자석 길이 및 두께, 도체수를 설계변수로 하였다. 4개의 설계변수와 5개의 제약조건을 선택하였으며 표 3.1과 같다.

표 3.1 설계변수와 제약조건

Table 3.1 Design variables and constraints

설계변수	제약 조건
$X_1 : t_m$ (영구자석 두께)	$g_1$ : 최대이동변위 2.5[mm]
$X_2 : w_m$ (영구자석 폭)	$g_2$ : $10[mm] \leq t_m \leq 14[mm]$
$X_3 : w_s$ (슬롯 폭)	$g_3$ : $18[mm] \leq w_m \leq 22[mm]$
$X_4 : N$ (턴수)	$g_4$ : $12[mm] \leq w_s \leq 16[mm]$
	$g_5$ : $1950[턴] \leq N \leq 2350[턴]$

3.2 모델절점이동기법(moving model node technique)

유한요소법의 장점은 해석 대상이 복잡한 모델이라도 해석이 쉽고 그 결과도 신뢰성이 높다는 점에 있다. 그러나, 기기의 성능개선을 위한 형상 및 치수변화에 관련된 설계변수

의 변화에 따른 특성해석을 행하는 경우 각각의 설계변수 변화에 따른 해석모델의 모델링, 재질정수 입력 및 요소분할 등의 전처리 작업이 요구되기 때문에 특성해석에 많은 시간과 노력이 요구된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 초기 모델링 데이터(절점, 선, 영역 등)를 이동시킨 후 요소분할을 통하여 각각의 설계변수 변화에 따른 전처리 데이터를 자동으로 생성하도록 하였으며 이는 치수의 변화가 빈번한 최적화 과정에 매우 효과적이다[9].

그림 3.2는 모델절점이동기법의 적용 과정을 나타낸 것이다. 먼저 치수를 가변 하고자 하는 해석모델의 모델링 및 재질정수 입력이 선행되어야 한다. 그리고, 해석모델에서 이동하고자 하는 개체(선, 라인, 이동라인 등)에 대한 정보를 스크립트 형태로 작성한다.

이동개체의 선정시 개체 이동 후 초기 요소분할에 쓰이는 절점 간격의 변화를 방지하기 위하여 고정 절점 간격을 유지하도록 한다. 이동모델은 개체의 이동 정보를 사용하여 초기 모델링 데이터를 변형하여 새로운 이동모델 데이터를 형성한 후 미리 입력된 재질정수를 이용하여 자동으로 생성된다. 모델이동기법에 의한 생성모델은 요소분할 후 특성해석에 이용될 수 있으며 개체이동 정보를 변경함으로써 새로운 치수나 형상을 가진 해석모델의 반복적인 생성이 가능하다. 따라서, 개체이동 정보의 입력, 요소분할과 특성해석을 일괄처리(batch process) 하도록 하여 모델링과 전처리의 번거로움을 줄이고 해석시간을 단축시킬 수 있다.

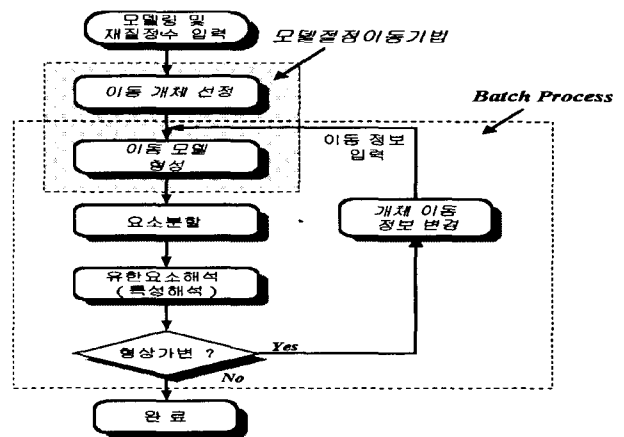


그림 3.2 모델절점이동기법의 적용과정

Fig. 3.2 Process of moving model node technique

본 논문에서는 모델절점이동기법을 이용하여 영구자석의 형상 변화와 코아부의 형상변화에 대한 특성해석을 행하였다. 입

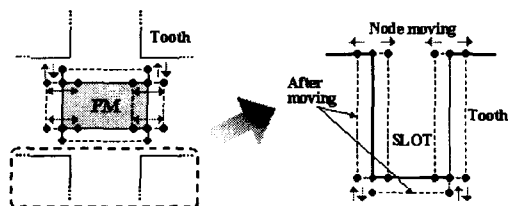


그림 3.3 모델절점이동기법의 적용

Fig. 3.3 Application of moving model node technique

력전류는 영구자석과 고정자 치/슬롯에 많은 영향을 받기 때문에 여러 가지 경우에 대하여 많은 해석을 필요로 한다.

그림 3.3는 MM-LOA의 영구자석크기 변화에 따른 특성 해석을 위하여 모델절점이동기법을 적용한 예를 나타내고 있다. 모델절점이동기법의 적용은 영구자석 및 슬롯의 형상변화에 따른 모델링 및 재질정수 입력의 반복작업을 피하면서 빠른 해석이 가능할 뿐만 아니라 전·후처리 과정을 일괄적으로 묶어 배치 처리함으로써 해석의 효율을 크게 증가시킬 수 있다. 그러나, 해석모델 생성 후의 요소분할을 필요로 하며 복잡한 형상에 대한 치수 변경시 이동개체의 선정에 주의할 필요가 있다.

**3.3 신경회로망에 의한 출력의 추정**

본 논문에서 사용한 MLP(multi-layer perceptron)형 신경회로망은 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 중간층(은닉층)이 존재하는 신경회로망으로 그림 3.4에 나타낸 것과 같은 계층구조를 갖는다.

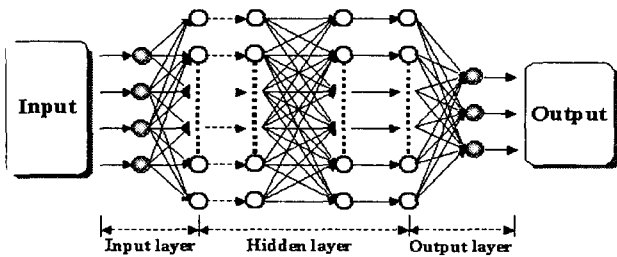


그림 3.4 신경회로망의 기본 형태  
Fig. 3.4 Form of neural network

본 논문에서는 은닉층을 3층으로 하고 각 은닉층의 뉴런수는 60개로 한 신경회로망을 사용하였으며, 여기서 입력은 4개의 설계변수이고 출력은 추력, 이동변위, 입력전류이다. 그리고 156개의 설계변수에 대한 추력, 변위, 입력전류의 샘플데이터를 유한요소법에 의하여 구하였으며, 이들중 몇 개를 표 3.2에 나타내었다.

표 3.2 신경회로망의 학습을 위한 데이터 예  
Table 3.2 Some data sets for training neural networks

No	입력				출력		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	전류	추력	변위
1	14	19	16	2350	0.340	36.09	2.62
2	12	22	16	2250	0.330	36.38	2.60
3	10	21	15	2250	0.325	34.57	2.48
4	13	19	14	2150	0.340	36.40	2.61
5	11	18	13	2250	0.330	34.32	2.48
6	10	19	12	2350	0.300	33.62	2.40

샘플데이터를 사용하여 평균 학습오차가 1[%] 이내로 수렴할때까지 오차역전과 학습법에 의하여 반복학습을 하였다. 학습과정에서 결합계수의 초기값은 임의의 작은값으로 하였으며, 이렇게 학습된 신경회로망에 임의의 설계변수를 입력하여 구한 출력을 표 3.3에 나타내었다.

표 3.3 신경회로망의 출력 예  
Table 3.3 Some outputs of neural network

No	입력				출력		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	전류	추력	변위
1	14	19	16	2350	0.352	36.06	2.63
2	12	22	16	2250	0.334	36.09	2.58
3	10	21	15	2250	0.325	34.57	2.49
4	13	19	14	2150	0.342	36.40	2.60
5	11	18	13	2250	0.325	34.34	2.46
6	10	19	12	2350	0.305	33.67	2.44

**3.4 결과 검토**

표 3.4는 신경회로망을 이용하여 구해진 최적 설계 파라미터를 나타낸 것이다. 여기서 음영으로 처리된 부분이 제약함수를 만족하면서 적용영역중 가장 높은 효율을 갖는 파라미터이다.

표 3.4 FEM에 의한 방법과 제안된 방법의 결과값 비교  
Table 3.4 Results comparison between two method

	입력				출력			역률	효율
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	전류	추력	변위		
Initial model	12	20	14	2150	0.35	36.26	2.598	0.454	39
FEM	13	20	16	2350	0.39	35.36	2.561	0.531	35
Neural					0.35	35.33	2.551		
FEM	11	22	16	2350	0.31	35.14	2.523	0.442	45
Neural					0.30	35.37	2.567		
FEM	10	21	14	2250	0.31	35.70	2.546	0.396	44
Neural					0.34	35.38	2.546		
FEM	11	19	12	2250	0.33	35.78	2.562	0.378	41
Neural					0.34	35.74	2.562		

X<sub>1</sub> X<sub>2</sub> X<sub>3</sub> : [mm], X<sub>4</sub> : [turn]

전류 : [A], 추력 : [Nm], 변위 : [mm], 효율 : [%]

본 논문에서 설계변수를 최적화하는데 있어 신경회로망을 이용함으로써 유한요소법을 이용한 경우에 비해 1/3 정도로 계산 시간을 줄일 수 있었다. 또한 최적 설계변수에의 출력함수들의 오차를 보면 전류가 3.2[%], 추력이 0.6[%], 변위가 1.7[%]로 평균적으로 1[%]정도 밖에 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 기법의 타당성을 확인하였다.

**4. 결 론**

본 논문에서는 신경회로망을 이용하여 진공펌프용 MM-LOA의 최적 설계방안을 제시하였다. 먼저 제시된 최적설계기법을 적용하기 위해 MM-LOA의 설계 및 특성해석을 수행하였다. 설계하고자 하는 MM-LOA의 경우 치-슬롯이 있는 구조이므로 Karter계수로 보정한 퍼미언스 법을 이용하여 개괄적인 구조를 설계하였으며, 세부 설계는 유한요소법을 이용하여 보정하였다. 초기 설계된 MM-LOA는 유한요소법을 통해 구한 파라미터를 사용한 특성해석으로 MM-LOA의 입력전류 및 속도 그리고 추력을 산출하였다.

본 논문에서 적용한 신경회로망을 이용한 최적화 설계는 설계변수에 관한 목적함수 및 원하는 출력값들을 정확히 추

정하였으며, 본 논문에서 제시한 방법에 의한 추정값과 직접 계산에 의한 값을 비교해 본 결과 오차는 매우 적었다. 최적 설계된 모델은 초기 모델에 비해서 효율이 6[%]정도 효율이 향상되었다.

기기의 최적화를 위해 전영역부분을 유한요소해석을 할 경우 모델링을 포함한 전처리등의 많은 번거로움 뿐만 아니라 해석 시간이 오래 걸리게 되는 반면 제안된 신경회로망을 이용한 최적화 기법은 설계변수의 변화에 기기의 성능변화에 대한 전반적인 형상을 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 방법 설계변수가 많은 전기기기에 최적설계 방법으로 적용한다면 좀 더 효율적인 설계를 할 수 있을 것이라고 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. H Kim, G. H Kang, J. P Hong and G. T Kim, "An Approach toward Improving Performance of Moving Coil Type Linear Oscillatory Actuator Considering Asymmetric Magnetic Circuit", Conference Record of the 2000 IEEE Industry Application Society, Vol. 1., pp. 286~292.
- [2] D. H Kim, G.H Kang, J. P Hong and G. T Kim, "Design and Characteristic Analysis of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator Considering Asymmetric Magnetic Circuit", COMPUMAG Conference, Vol. II, pp. 162~163. 2001.7.
- [3] 정상섭, 장석명, "가동자 위치에 따른 인덕턴스 변화와 Push/pull 효과를 고려한 가동코일형 LOA의 동특성", 전기학회 논문지 vol. 50B, No. 7, pp.307~314, 2001. 6.
- [4] Naila Miknaei-Boules, "Design and analisis of linear actuator for active vibration cancellation.", General Motors Corporation. 1995
- [5] 장석명 외, "전자장이론을 적용한 FEM해석에 의한 보이스코일 평판형 LOA설계", 대한 전기학회 하계학술대회 논문집, 1996
- [6] S. A. Nasar, I.Boldea, "Linear Motion Electric Machines", John Wiley & Sons Inc., 1976. 1999.
- [7] 조성호, 김덕현, 김규탁, "스프링 댐퍼를 이용한 가동자 석형 리니어 진동 액추에이터의 설계 및 특성 해석", 전기학회 논문지 vol. 52B, No. 1, pp. 9~15, 2003.1.
- [8] 임기채, 우준근, 홍정표, 김규탁, "영구자석선형동기전동기의 디텐트력 저감법", 전기학회 논문지 vol. 49B, No. 11, pp. 749~756, 2000.11.

## 저 자 소 개



### 조 성 호(曹 誠 皓)

1975년 11월 1일생. 2001년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 055-279-7519

Fax : 055-263-9956

E-mail : invucho@hanmail.net



### 김 덕 현(金 德 顯)

1966년 7월 10일생. 1992년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 창원대학교 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1996년 한화기계 자동차 사업부. 2002. 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 안동정보대학 전기과 조교수.

Tel : 054-820-8133

Fax : 054-822-7709

E-mail : dh0710@www.ait.ac.kr



### 김 규 탁(金 奎 卓)

1961년 11월 12일생. 1982년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1997년 일본 早稻田大 客員研究員. 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 055-279-7515, Fax : 055-263-9956

E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr