



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2007-0096276
(43) 공개일자 2007년10월02일

(51) Int. Cl.

H02K 41/02(2006.01) H02K 1/26(2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0026364

(22) 출원일자 2006년03월23일

심사청구일자 2006년03월23일

(71) 출원인

창원대학교 산학협력단

경남 창원시 사림동 9 창원대학교내

김규탁

경남 창원시 남양동 성원2차아파트 209-504

(72) 발명자

김규탁

경남 창원시 남양동 성원2차아파트 209-504

(74) 대리인

조주영

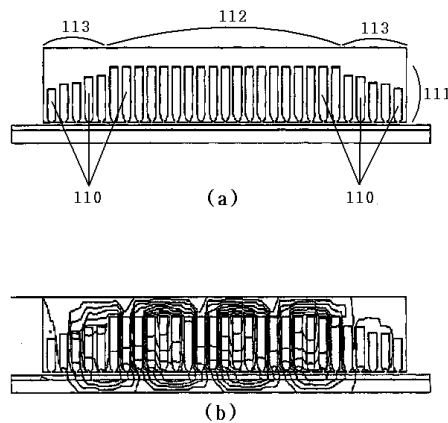
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 리니어모터의 최적설계방법

(57) 요약

본 발명은 리니어모터의 최적설계방법에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 유한요소법과 비선형 최소화기법을 적용하여 리니어모터의 최적설계방법을 제공하고, 리니어모터 양단부의 공슬롯이 존재하는 슬롯깊이를 조절하여 단부 효과로 인한 전류불평등 및 역률불평등의 최소화를 제공하며, 공극자속 및 발생추력의 리플을 개선한 것에 그 특징이 있다.

대표도 - 도9



특허청구의 범위

청구항 1

유한요소법과 비선형최소화기법을 이용하여 치형상 최적화(103)와 슬롯형상최적화(105)에 의한 리니어모터의 최적설계에 있어서,

상기 슬롯형상의 최적화(105)에서 공슬롯이 존재하는 양단부(113)의 슬롯 깊이(111)를 조절하여 단부효과를 최소화한 것을 특징으로 하는 리니어모터의 최적설계방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <20> 본 발명은 리니어모터의 설계에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 유한요소법(FEM)과 비선형 최소화기법(SUMT)을 이용하여 리니어모터의 최적설계방법에 관한 것이다.
- <21> 일반적으로 리니어모터는 고속에서의 단부효과, 큰 공극, 표피효과 등이 직선추진시스템에 미치는 영향에 대한 규명이 이루어져서 철도차량, 반송시스템 및 FA, OA기기 등 산업전반에 걸쳐 널리 적용되고 있으며, 응용분야가 확대될 것이다.
- <22> 종래 직선추진 시스템의 설계는 최적설계의 목표에 따라 설계데이터도 큰 차이가 발생하여 상당한 어려움이 있었다.
- <23> 리니어모터의 설계는 사용목적에 따라 효율 극대화, 부피 및 제작 단가의 극소화, KW/KVA의 극대화, 속응성의 극대화, 주행저항을 줄이기 위한 Normal Force의 최소화 등이 이루어지도록 최적화를 진행하여야 한다.
- <24> 그러나 어느 한가지만을 극대화시키기 위한 설계를 하다보면 다른면에서의 성능이나 구조면에서 불합리한 설계가 이루어지게 되므로 사용목적에 부합되는 리니어모터를 설계하기 위한 데이터 베이스화는 매우 어려웠고, 리니어모터는 그 구조적 특성인 양단부의 존재로 자기회로가 불연속이 되며 이로 인하여 각 상의 임피던스가 불평형이 되어 입력전류 및 역률 불평형과 제특성이 저하되고, 권선을 2층권으로 시행하여도 리니어모터의 양단부에서는 단층권으로만 권선이 시행되므로 누설증가 및 기자력도 중심부보다 적으며, 상층부에 권선이 존재하는 단부가 하층부에 권선이 존재하는 단부보다 자속밀도도 낮아지게 된다.
- <25> 이를 보정하기 위하여 양단부의 슬롯깊이를 중심부의 1/2로 하여 하층부에만 권선을 시행하는 방법도 제안되었으나 이는 모터의 중량증가를 초래하게 된다는 문제점이 있었다.
- <26> 상기의 단점을 보완하기 위하여 양단부의 슬롯깊이를 단부에서 중심부로 갈수록 반슬롯 깊이를 단층부의 슬롯수로 나눈 크기만큼 일정비율로 증가시키는 방법이 제안되었으나 이것이 최적이라고 할 수는 없다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <27> 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위한 것으로 유한요소법과 비선형 최소화기법을 이용한 리니어모터의 최적설계방법에 있어서, 리니어모터 양단부(입구단과 출구단)의 공슬롯이 존재하는 슬롯깊이를 조절하여 단부효과인 전류불평형 및 역률불평형의 최소화를 제공하는데 그 목적이 있다.

발명의 구성 및 작용

- <28> 본 발명은 리니어모터의 최적설계방법에 관한 것으로, 상세한 설명은 첨부된 도면을 참조하여 설명하기로 한다.
- <29> 도 2의 (a)는 편측식 리니어모터의 해석모델이고 (b)는 편측식 리니어모터의 a상에 대한 유한요소법에 의한 해석영역이며 (c)는 (a)의 요소분할도이고, 도 3은 도 2의 자속분포도이며, 도 4는 도 2의 자속밀도와 힘밀도의 공간분포도이고, 도 5의 (a)는 치형상의 최적화를 위한 독립변수이며 (b)는 치형상의 최적화를 위한 자속분포도이며, 도 6은 치형상이 최적화된 자속밀도의 공간분포도이고, 도 7은 치형상이 최적화된 힘밀도의 공간분포도이며, 도 8은 슬롯형상의 최적화를 위한 설계변수이고, 도 9의 (a)는 최적화된 형상이며 (b)는 (a)의 자속분포도

이고, 도 10은 출구단부에 대한 자속밀도의 분포도이고, 도 11은 출구단부에 대한 힘밀도의 분포도이며, 도 12는 본 발명의 설계방법에 대한 순서도이다.

<30> 일반적으로 회전형 유도전동기는 자기적, 기하학적 대칭성으로 인하여 기기전체를 해석영역으로 설정하지 않고 한 극분 만을 해석영역으로 설정할 수 있으나 리니어모터는 입구단과 출구단이라고 하는 양단부의 존재로 인하여 자기적인 불평형이 이루어져 기기전체를 해석영역으로 설정하여야 한다.

<31> 따라서 본 발명에서는 도 2의 (a)와 같이 해석영역을 설정하였으며 단부효과의 영향을 고려하기 위하여 기기와 부영역까지도 해석영역으로 택하였다.

<32> 도 2의 (b)는 편축식 리니어모터의 a상에 관한 등가회로와 유한요소법에 의한 해석영역을 나타내었다.

<33> 여기서, R_0 는 코일 단부의 저항, L_0 는 코일 단부의 누설인덕턴스, R_a 는 a상 권선의 저항, L_a 는 a상 권선의 누설인덕턴스이다.

<34> 코일 단부의 누설인덕턴스 L_0 는 Liwschitz 식에 의하여 $L_0 = \mu_0 N^2 \frac{L_\theta \lambda_\theta}{\lambda_\theta}$ 로서 L_θ 는 코일 단부의 길이, λ_θ 는 코일 단부의 퍼미언스이다.

<35> 유한요소법을 적용하기 위한 해석모델은 신뢰성을 검토하기 위하여 도 2(a)에서 제작한 리니어모터로 설정하였으며 요소분할도는 도 2(c)와 같은 자기회로의 불연속성을 고려하기 위하여 1차측 철심의 양단부도 해석영역으로 설정하였다.

<36> 도 3은 주파수 60[Hz], 평형 3상의 선간전압 220[V]를 리니어모터에 인가한 경우 시간변화에 따른 자속분포의 변화를 나타낸 것이다.

<37> 자속분포의 양상은 시간이 지날수록 왼쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

<38> 따라서 자동반송장치와 같이 리니어모터의 2차측이 고정되고 1차측이 이동하는 경우 1차측 철심은 왼쪽에서 오른쪽으로 전자력에 의해 이동하게 되므로 오른쪽은 입구단이 되고, 왼쪽은 출구단이 된다.

<39> ωt 에 관계없이 리니어모터의 입구단부의 자속은 1차측의 권선분포가 자계진행방향으로 불연속이 되어 나타나는 단부효과에 의해서 뭉뚱이 현상이 발생한다.

<40> 이는 입구단에서 자속이 공간적으로 급변하여 2차도체판에 와전류가 유도되어 리니어모터 내부로 침투하며 감소하는 진행과 자속에 의하여 나타나는 현상이다.

<41> 또한 출구단부에서는 철심면에 수직으로 나가는 자속성분도 존재하여 철심의 길이가 유한하여 존재하는 철심단단부효과도 나타났으나 그다지 큰 영향은 미치지 않아 저속에서는 단부효과의 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

<42> 도 4는 $\omega t=0^\circ$ 에서의 공극자속밀도 및 추력밀도의 공간적 분포를 도시한 것이다.

<43> 철심 양단부에서의 자속밀도는 철심 중심부 자속의 1/2정도로 나타났다.

<44> 이는 양단부에서 권선이 단층권으로 시행되었기 때문이며 공슬롯부가 하층에 있는 출구단부가 상층에 있는 입구단보다 자속밀도가 작게 나타났다.

<45> 따라서 유한요소법을 이용하여 리니어모터의 양단부에서의 슬롯형상 최적화를 도모하여 슬롯깊이를 줄이면 출구단부의 하층부 공슬롯이 감소하여 공극자속밀도가 상승하게 되어 이와 같은 현상은 줄일 수 있다.

<46> 입구단에서의 반대방향의 피크치는 기자력의 급변에 의한 와전류의 영향이며 출구단에서의 피크치는 철심길이 가 유한하기 때문으로 이에 대한 보상은 어렵다.

<47> 한편, 추력 및 수직력 분포에서는 양단부에서의 추력 및 수직력은 철심중앙부에 비해 1/4크기로 나타났다.

<48> 따라서, 전기기기의 발전추세인 경(輕), 박(薄), 단(短), 소(小)화를 위하여는 양단부의 에너지밀도를 높이도록 최적화가 필요하다.

<49> 즉, 하층부의 슬롯이 공슬롯으로 존재하는 곳의 슬롯깊이를 줄여 단부에서의 자속밀도를 높이면 추력밀도도 증

가되리라 본다.

<50> 추력의 공간분포에서 0보다 큰 부근은 정추력, 0보다 작은 부분은 부추력이다.

<51> 부추력은 공극자속밀도와 와전류 밀도의 공간적인 위상차에 기인하며 수직력의 (+)는 흡인력을, (-)는 반발력을 의미하며 그래프의 수치는 단위길이[m]당 발생력을 의미한다.

<52> 어떤 곳에서는 발생추력은 정으로, 수직력은 흡인력으로, 또 다른 곳에서는 추력은 제동력으로 수직력은 반발력 등으로 작용하는 뒤틀림력으로 작용하는 Dolpin Force가 발생하므로 리니어모터의 기계적 강도를 크게 하여야됨을 알 수 있다.

<53> 또한 역률은 $\cos \theta_a = 55.93[\%]$, $\cos \theta_b = 55.63[\%]$, $\cos \theta_c = 49.18[\%]$ 로 나타나 불평형의 차가 최대 6.75 [%]로 나타났다.

<54> 한편, 각 상 전류의 실효치는 $I_a = 5.15[A]$, $I_b = 5.21[A]$, $I_c = 5.46[A]$ 이다.

<55> 따라서 그 차의 최대치가 0.31[A]로 나타났는데, 이는 자기회로의 불연속에 의한 단부효과와 영향이다.

<56> 상기에서 설명한 도 2 내지 4에서 해석된 유한요소법과 비선형 최소화기법을 적용하여 리니어모터의 최적설계를 구현하기로 한다.

<57> 전자계는 본질적으로 분포계이므로 집중정수로 취급하여 해석하기에는 문제점이 많으나 최적화 문제에서 집중정수로 취급하면 시간절약은 많이 되나 이와 같은 방법은 개략적인 설계변수의 최적화에는 유리하나 형상변화에 따른 특성변화를 고려할 수 없다.

<58> 따라서 본 발명에서는 유한요소법과 비선형 최소화기법을 결합하여 치부분의 형상최적화를 도모하는 상세 설계를 하였다.

<59> 상세 설계에서는 특성 개선을 위하여 먼저 치부분의 형상 최적화를 행한 다음 자기회로의 불연속에 의한 입력전류의 불평형을 최소화하기 위한 슬롯형상 최적화의 순서로 구성한다.

<60> (1) 치형상 최적화

<61> 일반적으로 리니어모터의 설계에서는 공극이 매우 커 누설자속을 다소나마 줄이기 위하여 개방슬롯으로 설계하는 것이 일반적인데, 치밀부분에는 자속이 집중되고 슬롯밀부분에는 자속이 거의 존재하지 않아 자속밀도의 리플이 크게 되어 소음 및 진동의 원인이 된다.

<62> 그러므로 본 발명에서는 자속분포의 리플을 줄이고 리니어모터의 성능향상을 위한 치형상 최적화를 도모하였다.

<63> 도 5의 (a)에서 도시한 바와 같이 치머리부분의 4절점의 x좌표를 독립변수로 택하여 최적화를 진행하였다.

<64> 목적함수 : $F(x) = \max[\text{Efficiency}]$ ----- (식 1)

<65> 목적함수는 (식 1)과 같이 효율최대화로 하였으며, 효율향상을 위한 한 방편으로 같은 입력에서 발생추력의 증가를 목적함수로 택할 수 있으나 이때는 자속밀도 및 힘의 공간분포에 더 큰 리플이 포함되어 효율극대화 그 자체를 목적함수로 택하였으며, 이때의 제약조건으로는 슬롯폭이 7[mm]이므로 폐슬롯으로 향하는 치부분의 절점값은 3.5[mm]이상 증가할 수 없도록 하였다.

<66> 도 5(b)는 치형상 최적화 후의 등포텐셜도이다.

<67> 최적화된 형상의 경우, 도 3의 개슬롯 형상에서보다 공극자속의 리플이 많이 개선됨을 알 수 있다.

<68> 도 6의 자속밀도의 공간분포에서 알 수 있듯이 자속의 공간적인 분포가 정현적인 분포이다.

<69> 그러나 자기저항의 감소로 인한 리액턴스의 증가로 입력전류는 $I_a = 5.15[A]$ 에서 4.90[A]로, $I_b = 5.21[A]$ 에서 4.96[A]로, $I_c = 5.46[A]$ 에서 5.12[A]로 감소하였다.

<70> 이로 인하여 공극자속밀도도 다소 감소하여 발생추력은 개슬롯시보다 1.7[N] 감소하였다.

- <71> 그러나 입력전류의 감소에 비해 발생추력의 감소는 작아 효율은 21.6[%]에서 22.4[%]로 0.8[%] 증가하였다.
- <72> 도 7의 힘밀도 분포에서 볼 수 있는 바와 같이 발생추력의 리플도 감소하므로 소음 및 진동도 작아져 양호한 설계가 이루어짐을 알 수 있다.
- <73> 그러나 각상의 역률은 $\cos \theta_a = 55.93[\%]$ 에서 56.22[%], $\cos \theta_b = 53.63[\%]$ 에서 53.75[%], $\cos \theta_c = 49.18[\%]$ 에서 48.28[%]로 역률 불평형은 더욱 심화되었다.
- <74> (2) 슬롯형상 최적화
- <75> 리니어모터에서는 각 상의 권선저항이 일정하여도 자기회로의 불연속에 의하여 각 상의 임피던스의 불평형이 발생하며 이로 인하여 각 상의 전류 및 역률이 불평형이 된다.
- <76> 그래서 본 발명에서는 리니어모터의 구조적 특징 때문에 양단부에서 권선이 단층으로만 시행되므로 슬롯의 1/2 부분이 공슬롯이 존재하게 되므로, 이 공슬롯의 깊이를 조정하면 자기저항의 변화로 자기회로의 불평형을 줄일 수 있으며 자로의 증가로 역률이 상승하게 된다.
- <77> 치형상 최적화를 이룬 해석 모델에서 슬롯깊이를 독립변수로 택하여 슬롯 형상 최적화를 시행한다.
- <78> 양단부의 슬롯이 모터의 중심을 기준으로 대칭이므로 출구단 공슬롯의 y출좌표를 독립변수로 택하고 입구단은 출구단의 좌표값과 동일하게 변화하도록 처리하였다.
- <79> 도 8에서는 슬롯형상 최적화를 위한 설계변수를 도시하였다.
- <80> 한편, 목적함수는 다음 식과 같이 택하였다.
- <81>
$$F(x) = \text{Min}(I-I) \text{ ----- (식 2)}$$
- <82> 또한, 슬롯깊이가 40[mm]이므로 이의 1/2인 20[mm]이상 감소할 수 없도록 하였다.
- <83> (표 1)은 최적화 과정에서의 독립변수의 변화량이며, (표 2)에서는 제약조건의 변화를 나타내었다.
- <84> 최적화를 시행한 결과 출구단부에서는 슬롯하층부의 공슬롯이 줄어 누설자속의 감소로 치형상 최적화보다 자속 밀도에서는 이동방향성분은 감소하고 이차측과 쇄교자속이 증가함을 알 수 있다.
- <85> 또한 출구단부에서의 피크치도 감소하여 자속의 급변에 의한 정적 단부 효과는 다소 줄어들었다.
- <86> 그러므로 2차측과의 쇄교자속이 증가하여 2차측의 와전류가 증가하여 2차측 기자력을 상쇄시키기 위하여 입력전류는 증가된다.
- <87> 그러나 공슬롯이 상층부에 있는 입구단 및 중심부의 자속분포는 치형상 최적화의 경우와 같았다.

(표1) 독립변수의 변화

No	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
----	------	------	------	------	------

1	0.178332	0.182593	0.183786	0.188171	0.189893
2	0.178799	0.183033	0.184407	0.188854	0.190604
3	0.179219	0.183430	0.184966	0.189469	0.191244
4	0.179597	0.183787	0.185470	0.190022	0.191819
5	0.179938	0.184108	0.185923	0.190520	0.192337
6	0.180244	0.184398	0.186330	0.190968	0.192804
7	0.182046	0.184398	0.186330	0.190968	0.192840
8	0.182184	0.186230	0.188914	0.193807	0.197716
9	0.182053	0.186106	0.188740	0.193615	0.195559
10	0.183784	0.186106	0.188740	0.193615	0.195559
11	0.182053	0.187967	0.188740	0.193615	0.195559
12	0.182053	0.186106	0.190627	0.193615	0.195557
13	0.184386	0.187716	0.188734	0.194382	0.193168
14	0.184386	0.187716	0.188734	0.192458	0.195099
15	0.184009	0.187456	0.188735	0.192645	0.193554
16	0.185849	0.187456	0.188735	0.192645	0.193554
17	0.184009	0.189331	0.188735	0.192645	0.193554
18	0.185859	0.187463	0.188735	0.192640	0.193554
19	0.184019	0.189338	0.188735	0.192640	0.193554
20	0.184019	0.187463	0.188735	0.192640	0.193554

<90>

(표2) 제약조건의 변화

<91>

No	I_a	I_b	I_c	$\cos \Phi_a$	$\cos \Phi_b$	$\cos \Phi_c$	η	Thrust	N.F
----	-------	-------	-------	---------------	---------------	---------------	--------	--------	-----

1	5.60	6.0	5.86	0.563	0.537	0.467	0.202	98.08	-62.19
2	5.59	5.98	5.81	0.564	0.536	0.470	0.204	99.00	-62.69
3	5.59	5.96	5.77	0.565	0.537	0.472	0.207	99.78	-63.14
4	5.58	5.94	5.73	0.566	0.537	0.473	0.206	99.19	-64.76
5	5.56	5.91	5.69	0.567	0.539	0.476	0.211	101.02	-63.87
6	5.55	5.87	5.65	0.568	0.540	0.477	0.212	101.42	-64.11
7	5.54	5.84	5.62	0.569	0.541	0.479	0.213	101.71	-64.28
8	5.52	5.80	5.59	0.569	0.542	0.480	0.215	101.90	-64.39
9	5.51	5.76	5.56	0.570	0.543	0.481	0.216	102.00	-64.44
10	5.49	5.73	5.53	0.571	0.544	0.481	0.217	102.10	-64.49
11	5.48	5.69	5.51	0.570	0.545	0.482	0.217	102.04	-64.44
12	5.46	5.66	5.49	0.571	0.544	0.481	0.218	101.98	-64.37
13	5.31	5.31	5.23	0.570	0.546	0.481	0.223	99.73	-62.62
14	5.33	5.31	5.27	0.570	0.546	0.481	0.223	99.92	-62.79
15	5.31	5.31	5.26	0.570	0.546	0.481	0.223	99.83	-62.69
16	5.30	5.31	5.27	0.570	0.546	0.481	0.223	99.78	-62.73
17	5.34	5.27	5.27	0.571	0.547	0.480	0.223	99.79	-62.67
18	5.30	5.33	5.30	0.571	0.546	0.482	0.222	99.91	-62.78
19	5.28	5.33	5.30	0.571	0.545	0.482	0.222	99.79	-62.66
20	5.30	5.33	5.30	0.571	0.546	0.482	0.222	99.91	-62.78

<92> 도 9의 (a)는 치형상 최적화 후 슬롯 형상최적화를 이룬 단부에서의 슬롯 형상을 도시하였는데 슬롯(110)의 깊이(111)가 중앙부(112)는 깊고 양단부(113)로 갈수록 슬롯(110)의 깊이(111)가 얕아지며 얕아지는 양단부(113)의 가장 바깥쪽의 슬롯(110)의 깊이(111)는 중앙부(112)의 슬롯(110) 깊이(111)의 1/2 이하로는 줄이지 않는데 상기의 슬롯구성은 실시예로 구성한 것이며 다른 형태의 슬롯구성이 될 수도 있음을 밝혀둔다.

<93> 여기서, 양단부(113)에서 코일이 채워지지는 부분의 1/2이 공슬롯이 존재하기 때문에 공슬롯이 존재하는 양단부(113)의 슬롯의 깊이(111)를 조절하여 단부효과를 최소화시킬 수 있게 된다.

<94> 그리고 (a)의 자속분포를 도 9 (b)에서 나타내었다.

<95> 도 10과 도 11에서는 출구단부에서의 자속밀도 및 힘밀도분포를 도시한 것으로 공극자속분포가 출구단부를 제외하면 치형상 최적화와 동일하여 단부에서의 힘밀도 및 수직력 분포만 도시하였으며 슬롯형상 최적화시 출구단에서의 제동력이 다소 감소하였다.

<96> 이는 슬롯형상 최적화를 통하여 출구단에서의 자속급변이 줄어들었기 때문으로 정적 단부효과는 양단부의 슬롯 깊이의 최적화를 통하여 개선시킬 수 있다.

<97> 총 발생추력은 치형상 최적화시에서는 슬롯형상 최적화시의 94.95[N]에서 99.91[N]으로 증가하였다.

<98> 한편 입력전류는 리액턴스의 감소로 $I_a=4.90[A]$ 에서 $5.30[A]$ 로, $I_b=4.96[A]$ 에서 $5.33[A]$ 로,

$I_c=5.12[A]$ 에서 $5.30[A]$ 로 증가하였으며 전류불평형은 없었다.

<99> 따라서 정적 단부효과에 의한 전류 불평형을 해소할 수 있다.

<100> 그러나 본 발명에서는 목적함수를 전류불평형 최소화로 하였으므로 역률은 $\cos \theta_a = 56.22[\%]$ 에서 $57.06[\%]$, $\cos \theta_b = 53.75[\%]$ 에서 $54.60[\%]$ 로 오히려 증가하였으나 역률이 가장 나빴던 $\cos \theta_c = 48.28[\%]$ 에서 $48.20[\%]$ 로 되어 역률 불평형은 조금 심화되었으나 평균 역률은 개선되었으며 효율은 $22.41[\%]$ 에서 $22.22[\%]$ 로 변화가 없어 양호한 설계가 이루어짐을 알 수 있다.

발명의 효과

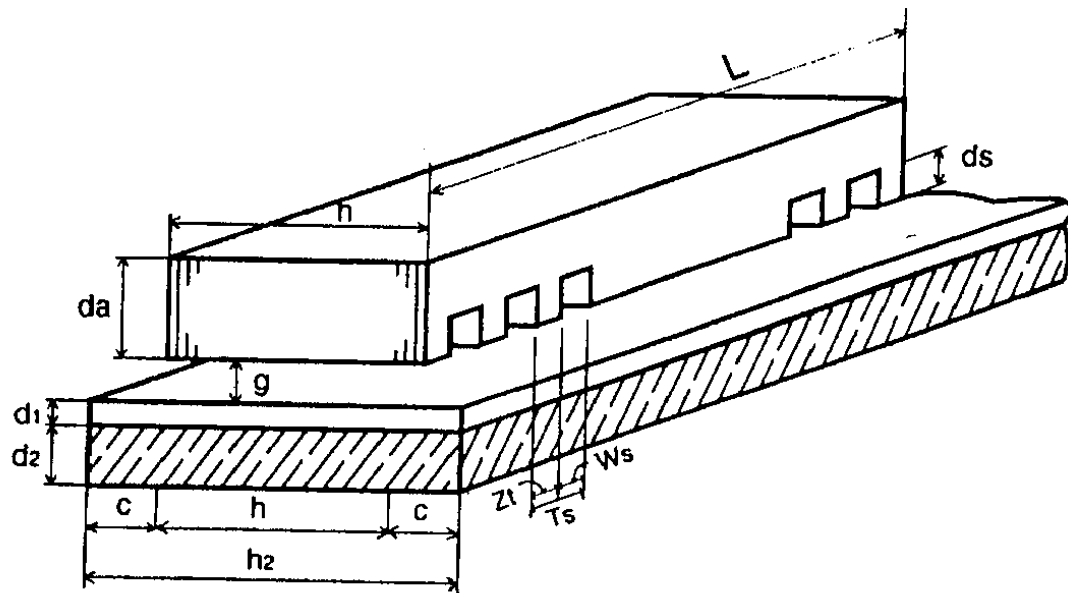
<101> 상기의 구성에서 살펴본 바와 같이 본 발명은 리니어모터의 설계시에 유한요소법과 비선형 최소화기법을 결합한 후 치형상의 최적화 및 슬롯형상의 최적화를 구현하여 리니어모터의 효율최적화 및 고유특성인 단부효과에 의한 각 상의 임피던스 불평형이 최소화된 효과와 이로 인하여 전류 불평형도 최소화된 효과가 있으며, 공극자속 및 발생추력의 리플을 개선한 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

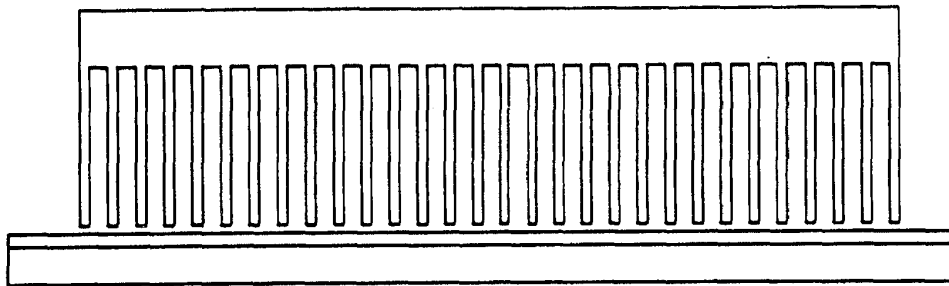
- <1> 도 1은 일반적인 리니어모터의 사시도
- <2> 도 2의 (a)는 편측식 리니어모터의 해석모델, (b)는 편측식 리니어모터의 a상에 대한 유한요소법에 의한 해석영역, (c)는 (a)의 요소분할도
- <3> 도 3은 도 2의 자속분포도
- <4> 도 4는 도 2의 자속밀도와 힘밀도의 공간분포도
- <5> 도 5의 (a)는 치형상의 최적화를 위한 독립변수, (b)는 치형상의 최적화를 위한 자속분포도
- <6> 도 6은 치형상이 최적화된 자속밀도의 공간분포도
- <7> 도 7은 치형상이 최적화된 힘밀도의 공간분포도
- <8> 도 8은 슬롯형상의 최적화를 위한 설계변수
- <9> 도 9의 (a)는 최적화된 형상, (b)는 (a)의 자속분포도
- <10> 도 10은 출구단부에 대한 자속밀도의 분포도
- <11> 도 11은 출구단부에 대한 힘밀도의 분포도
- <12> 도 12는 본 발명의 설계방법에 대한 순서도
- <13> ※도면의 주요부분에 대한 부호의 설명
- <14> 100. 해석모델 채택 101. 유한요소법으로 해석
- <15> 102. 독립변수 채택 103. 치형상의 최적화
- <16> 104. 설계변수 채택 105. 슬롯형상의 최적화
- <17> 106. 완료
- <18> 110. 슬롯 111. 슬롯의 깊이
- <19> 112. 중앙부 113. 단부

도면

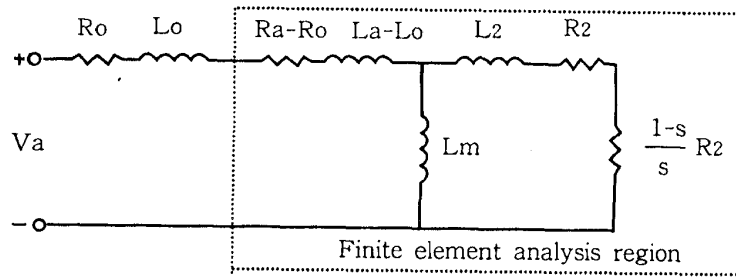
도면1



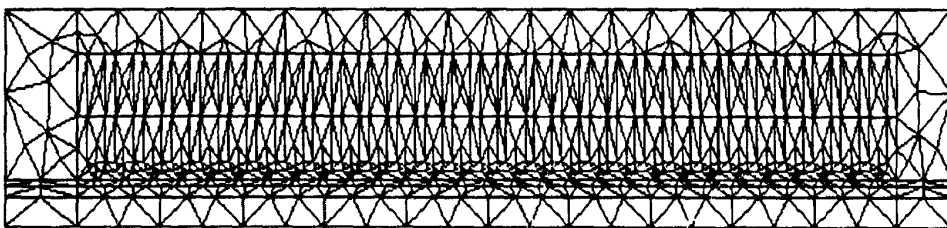
도면2



(a)

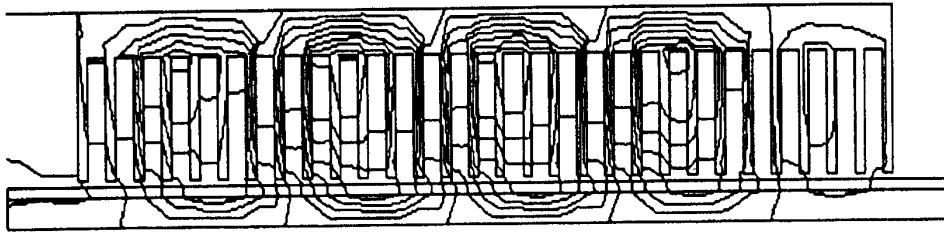


(b)

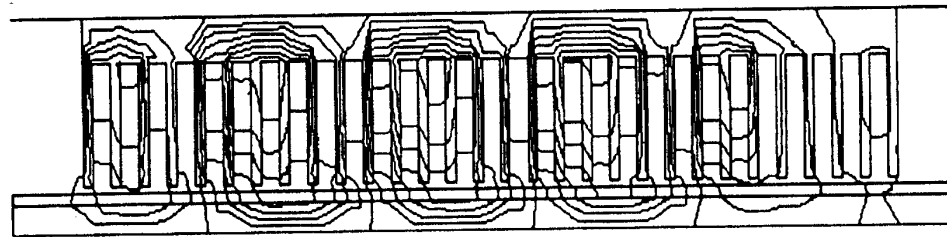


(c)

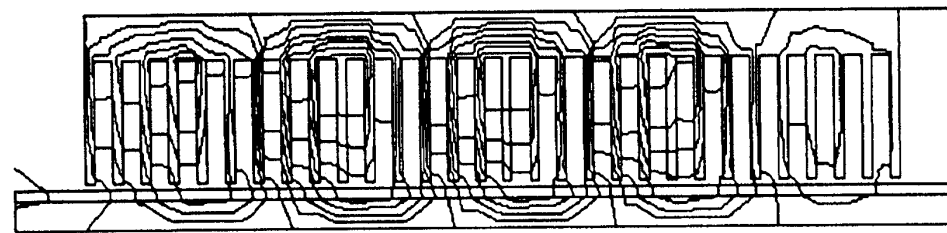
도면3



(a) $\omega t = 0^\circ$

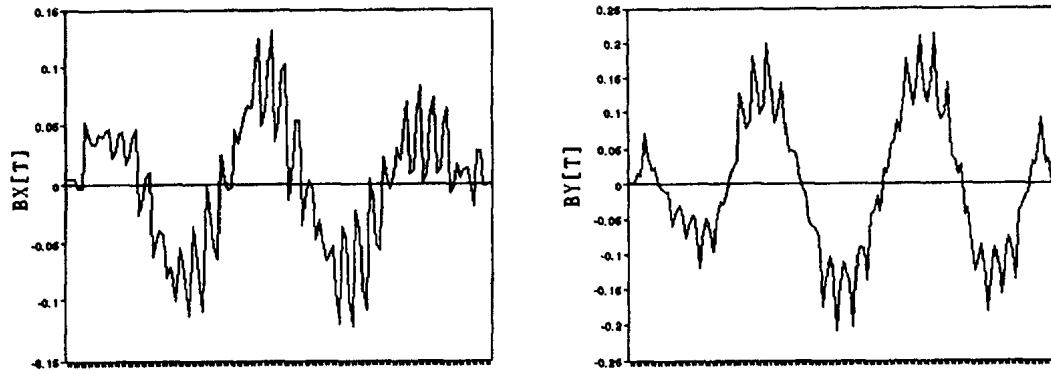


(b) $\omega t = 30^\circ$

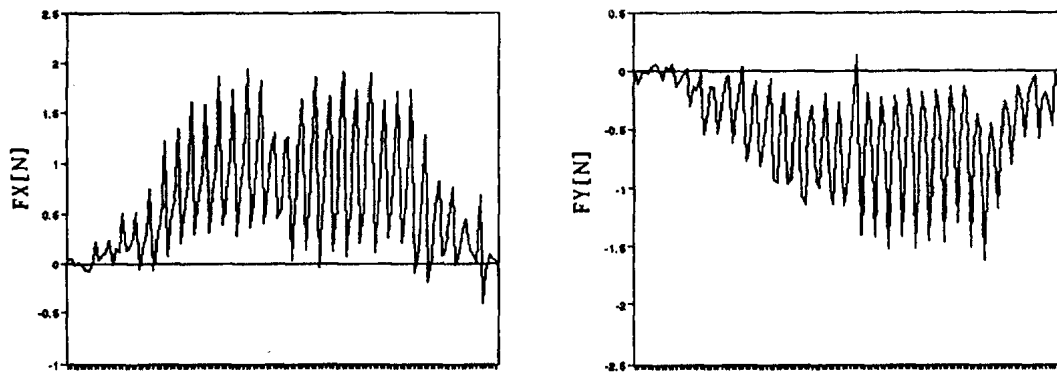


(c) $\omega t = 60^\circ$

도면4

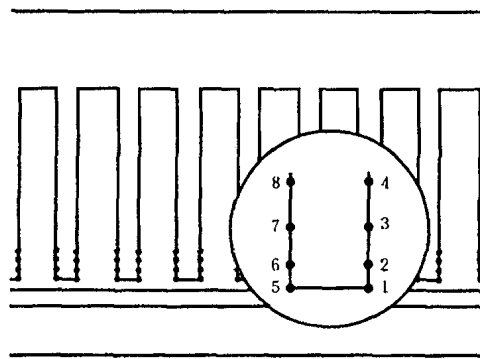


(a) 자 속 밀 도

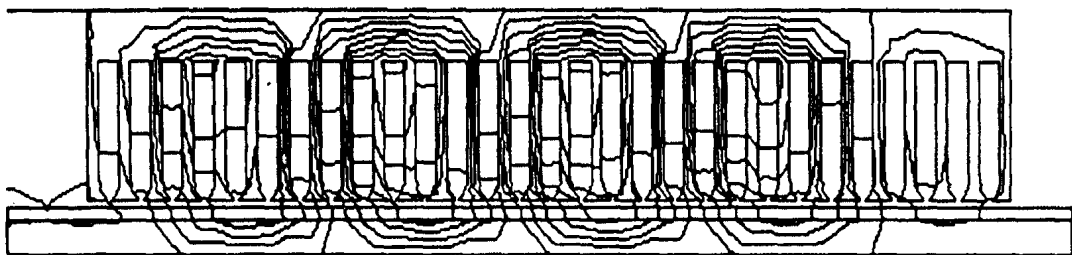


(b) 힘 밀 도

도면5

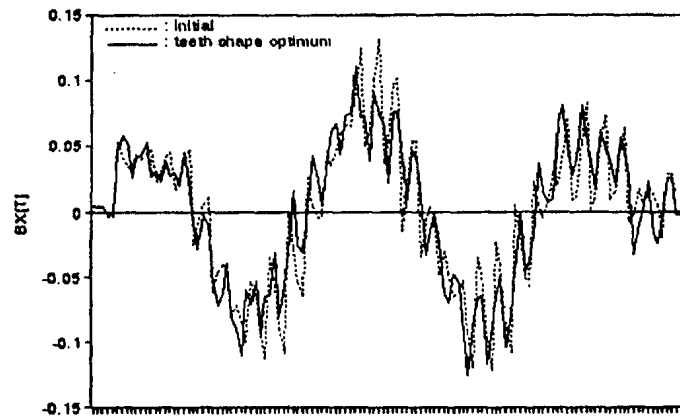


(a)

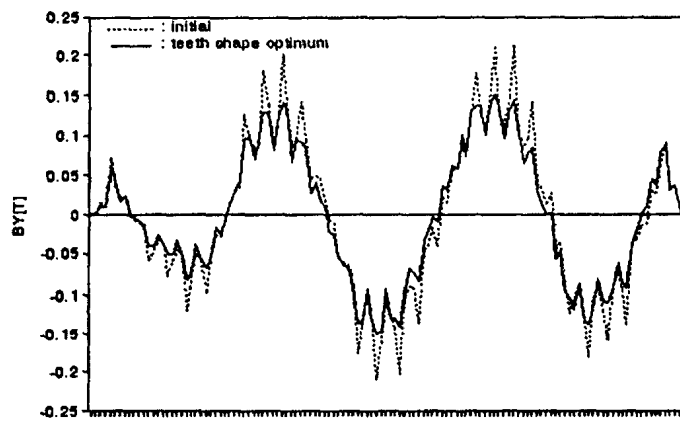


(b)

도면6

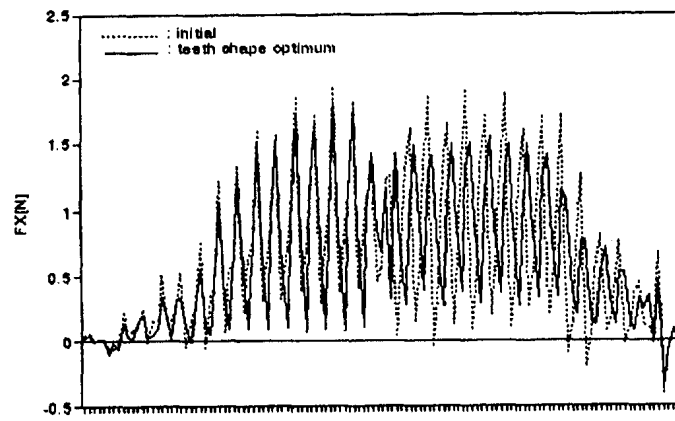


(a) 자속밀도의 x방향성분

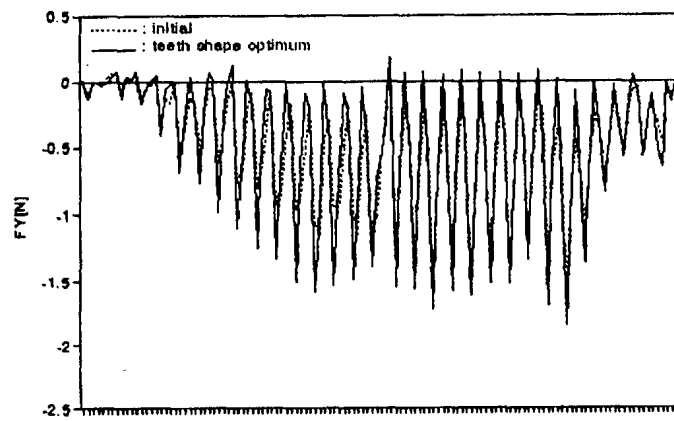


(b) 자속밀도의 y방향성분

도면7

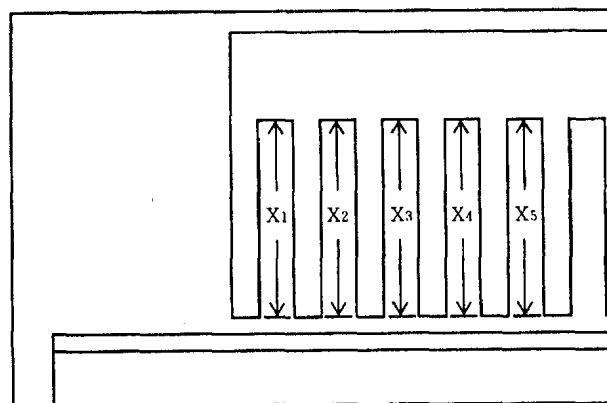


(a) 추력 분포

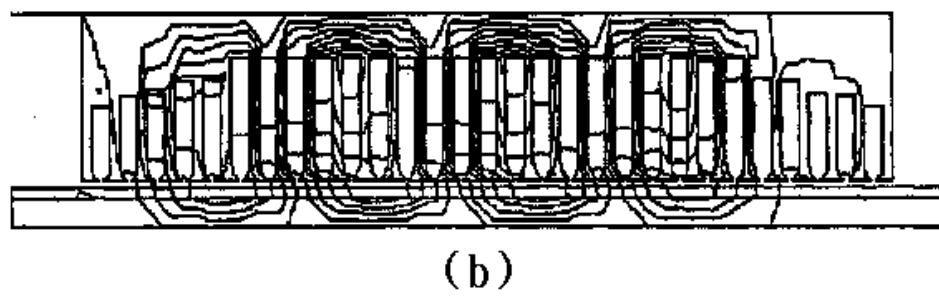
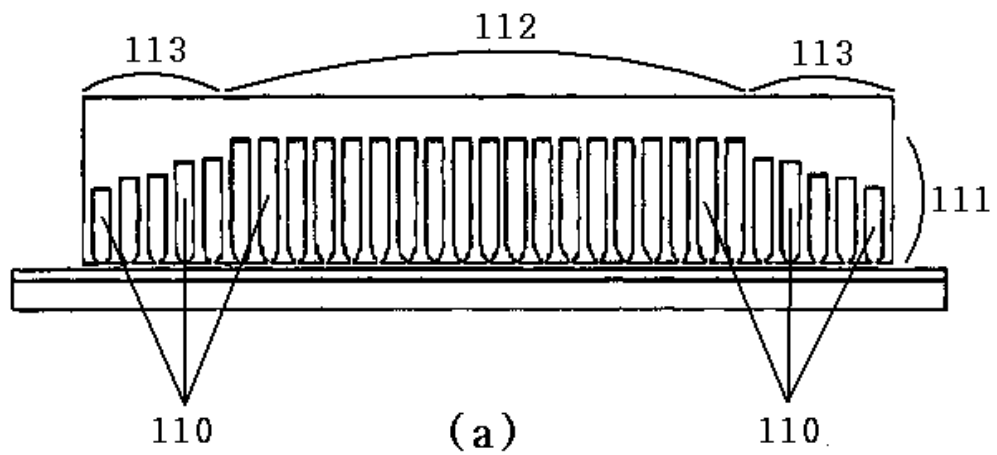


(b) 수직력 분포

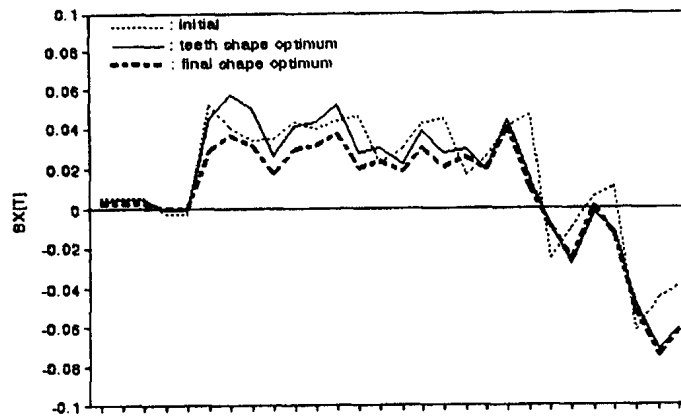
도면8



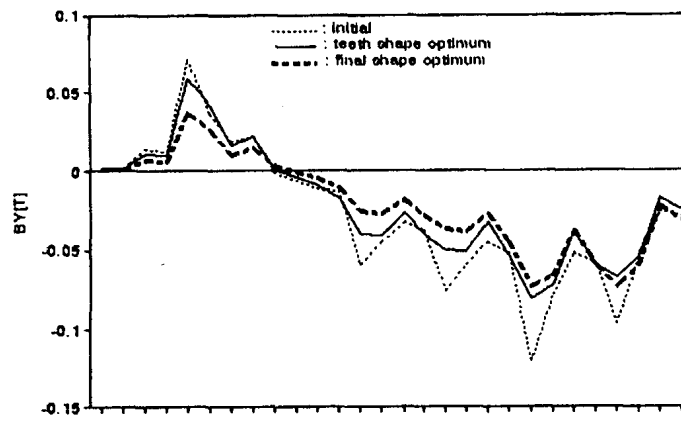
도면9



도면10

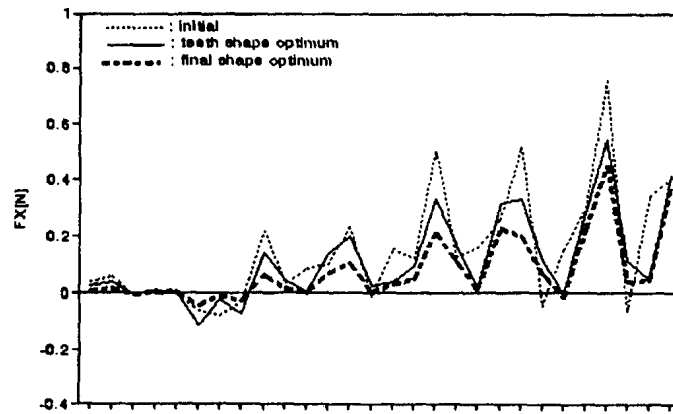


(a) 자속밀도의 x방향성분

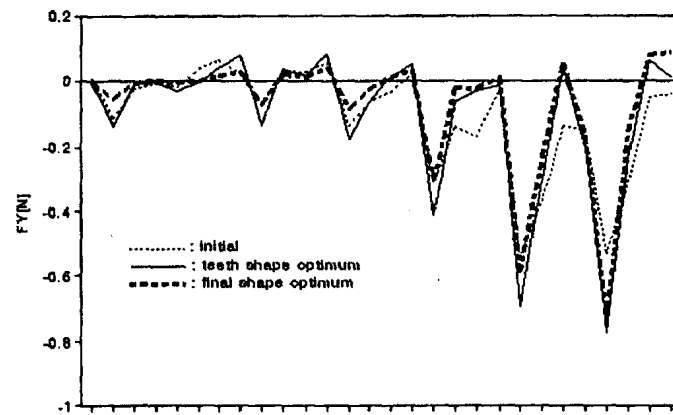


(b) 자속밀도의 y방향성분

도면11



(a) 추력 분포



(b) 수직력 분포

도면12

