'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

유한요소법을 이용한 LPM의 자기회로 구성별 추력특성해석

조현길°, 김일중**, 이은웅***
충남대학교, 주성전문대**, 충남대학교***

Characteristics Analysis of the Thrust Force in LPM as Magnetic Circuit Using the FEM

Hyun-Gil Cho*, Il-Jung Kim**, Eun-Woong Lee***
Chungnam Univ*, Jusung Jr. College**, Chungnam Univ***

Abstract

In this paper, in order to design Linear Pulse Motor(LPM) effectively, the flux density and the thrust force of LPM have been calculated in the air gap by using Finite Element Method(FEM). The kinds of magnetic circuit are the variable reluctance(VR), hybrid(HB), and permanent magnet(PM) type. Tooth and slot shape are rectangular, wedge head(taper; 10, 20 degree), and semi-circle type.

1.서론

산업신장과 함께 전기기계 분야에서 정밀위치제어가 가능한 소형 경량의 직선구동 장치로 LPM의 개발이 이루어지고 있다. 특히, 타 직선구동 장치에 비해 추력특성이 양호한 LPM은 구성회로에 따라 PM형, VR형 , HB형으로 분류되는데, LPM의 기본적인 구동원리는 공극에서의 자기저항이 최소가 되는 가동자와 고정자치의 상대적인 위치를 안정점으로 하는 것이다.. 따라서 자기회로의 형태에 따라 공극에서의 자속분포와 정추력의 크기가 다르게 된다. 그러므로 동일 입력과 기하학적 크기를 같이 하여 각각의 추력특성을 비교해 볼 필요가 있다. 이 경우 치와 슬롯의 형태를 구분하고 VR형, HB형, PM형으로 나누어 세 가지 형태의 LPM을 편측식과 양측식으로 동일 입력에서 각각의 추력특성을 유한요소법 패키지인 MAGNET5.03을 이용하여 해석하였다.

2. 자기회로의 구성에 따른 특성해석

영구자석과 자성체가 혼합된 영역에서의 자속자계분포는

$$\nu(B)B = H_c + H \quad (1)$$

$$\nabla \times (\nu(B)\nabla \times A) = J_o + J_m \quad (2)$$

이 성립한다.

잔차를 최소로 하는 가중잔차법인 Galerkin method를 사용하여 2차원 해석의 정식화 식은 식(3)과 같다. [1]

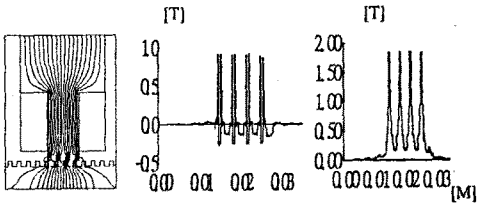
$$G = \int_s \nu\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial A}{\partial y}\right)dxdy - \int_s NJdxdy - \int_s -N_i J_{pm}dxdy \quad (3)$$

2.1 VR형 LPM

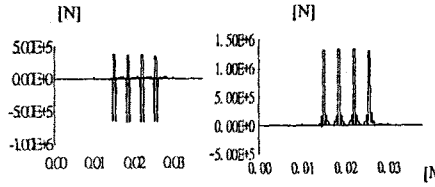
VR형에서 가동자와 고정자 치의 상대적인 위치는 여자권선의 전류에 의하여 공극 퍼어미언스가 가장 큰 쪽으로 이동하게 되므로 변위가 1/4치피치에서 가장 큰 추력을 나타내고 0과 1/2치피치에서 추력은 0이고 수직력만 작용하게 된다. 편측식에서의 수직력은 모두 지지기구의 하중으로 작용한다.

그림 1(a)와 같이 4극이 일정 극피치로 설계되어 있으므로 1극만의 해석모델에 주기경계조건과 자연경계조건을 적용하였고 1444개의 node와 2884개의 요소로 분할하여 1.16 (A/mm²) 의 여자전류를 입력으로 주었다. 치와 슬롯의 형태가 모두 각형인 경우의 추력과 수직력을 고찰하고자 한다.

그림1에서 (a)는 1극만의 자속흐름도, (b)와 (c)는 contour에 따라 접선과 법선방향 자속밀도, (d)와 (c)는 각각 추력과 수직력을 나타내고 있다. 이와 같은 힘은 공극의 중앙에서 맥스웰 스트레스 텐서에 의해 구하였으며, 표 1에 한 상 여자시 추력과 수직력을 편측식과 양측식으로 구분하여 나타내고 있다. 양측식은 편측식에 비하여 2배정도의 추력과 수직력이 발생하는 것이다.



(a)자속흐름도 (b) 접선성분 자속밀도 (c)법선성분자속밀도



(d) 접선성분의 힘 (c) 법선성분의 힘

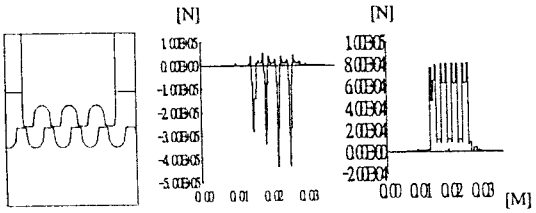
그림1. 직선 슬롯과 치를 갖는 VR형 LPM의 특성

VR형 LPM을 기본으로 치와 슬롯의 형태를 변화하여 각각의 추력과 수직력 특성을 해석하였다. 치의 형태는 각형 치와 20 ° 와10 ° 의 경사를 갖는 사다리꼴 형태의 치로 하고 슬롯의 형태는 각형과 반원형으로 하였다. 그림 2(a), 그림 3(a), 그림4(a)에 치와 슬롯의

표 1. VR 형의 1상분 추력특성 비교 단위 : [N]

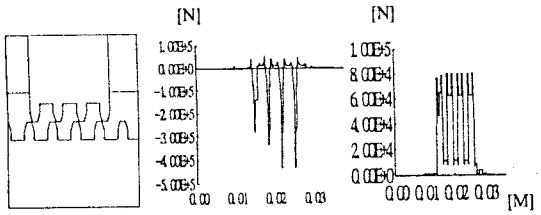
변위		편측식	양측식
χ = 0	추력	0.627025	1.61
	수직력	164.3816	278.45
χ = τ / 4	추력	15.22551	30.46
	수직력	90.18511	180.38
χ = τ / 2	추력	1.869003	3.78
	수직력	20.64497	41.18

형태를 각각 나타내었고, 그림 2(b),(c), 그림3(b),(c), 그림4(b),(c)에 추력과 수직력을 나타내었다. [2][4]



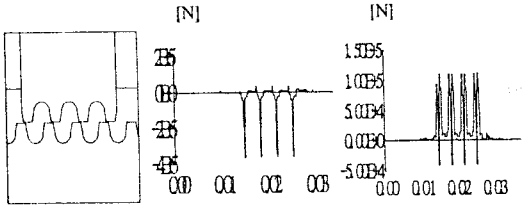
(a)치와 슬롯의 형태 (b) 추력 (c) 수직력

그림2. 20 ° 사다리꼴 치와 반원형 슬롯을 갖는 VR형 LPM의 특성



(a) 치와 슬롯의 형태 (b) 추력 (c) 수직력

그림3. 20 ° 사다리꼴 치와 각형 슬롯을 갖는 VR형 LPM의 특성



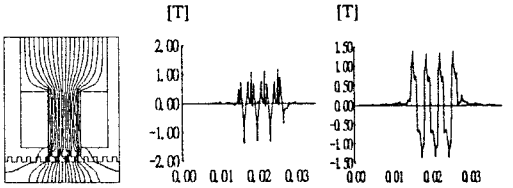
(a)치와 슬롯의 형태 (b) 추력 (c) 수직력

그림 4. 10 ° 사다리꼴 치와 반원형 슬롯을 갖는 VR형 LPM의 특성

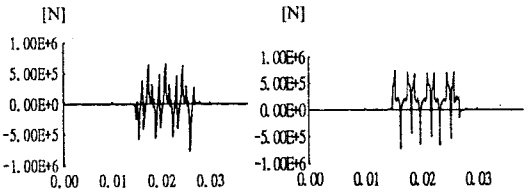
2.2 PM형

PM형은 VR형의 치를 다극착자한 영구자석으로 대치한 모델로 서 1.16[A/mm²]의 여자전류를 주었다. 모든 크기를 앞절의 VR형과 동일하게 하였으며, 여자상의 자속의 방향과 영구자석의 방향이 일치하도록 하여 총 자속의 일부를 영구자석이 부담한다.. 영구자석의 자성 재료는 희토류자석으로 하였으며, 희토류자석의 자기이력곡선을 MAGNET5.03 TOOL BOX의 CURV에 입력함으로써 시뮬레이션한 결과 VR형에 비하여 치부의 자속이 증가함을 알 수 있다..

그림5(a)은 PM형 LPM의 모델과 가동자의 위치가 1/4치피치일 때 자속흐름도이고, (b)와 (c)는 자속밀도 분포를, (d)와 (c)는 공극에서의 힘을 맥스웰스트레스텐서에 의해 contour에 따라 구한 것이다. 표2에 1 상 여자시의 변위 따른 PM형 LPM의 추력과 수직력을 편측식과 양측식으로 나누어 나타내고 있다[2][4].



(a) 자속흐름도(b) 접선성분자속밀도 (c) 법선성분자속밀도



(d) 추력 (c) 수직력

그림5. 각형 치와 슬롯을 갖는 PM형 LPM의 특성

표2. PM형의 각 상당 추력특성 비교 단위 : [N]

변위		편측식	양측식
χ = 0	추력	0.14535	7.84
	수직력	83.038	165.25
χ = τ / 4	추력	32.48	65.21
	수직력	56.52	102.2
χ = τ / 2	추력	0.994164	0.29
	수직력	81.56041	161.91

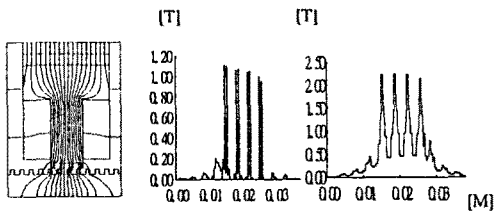
2.3 HB형 자기회로

VR형 LPM에 영구자석과 계철판을 추가한 형태의 HB형 LPM의 자기회로 특성을 해석하였다. HB형에서 영구자석을 가동자의 철심과 철심 사이에 위치시켜 영구자석이 소요 총자속의 절반을 부담하게 하도록 하였다.[1][3]

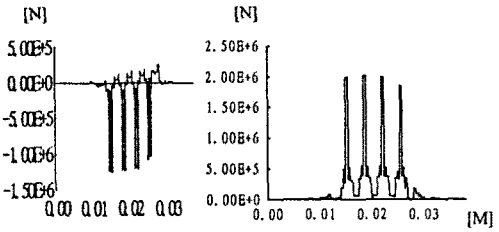
그림6(a)는 HB형 LPM의 1극 모델과 가동자의 위치가 1/4치피치 일 때 자속흐름도이고, (b)와 (c)는 자속밀도 분포를, (d)와 (c)는 공극에서의 힘을 맥스웰스트레스텐서에 의해 contour에 따라 구한 것이다. 표3에 1 상 여자시의 변위 따른 HB형 LPM의 추력과 수직력을 편측식과 양측식으로 나누어 나타내고 있다.

표3. 각형 HB형의 상당추력과 수직력 단위 : [N]

변위		편측식	양측식
χ = 0	추력	0.983231	19.61
	수직력	273.20	147.98
χ = τ / 4	추력	57.34	116.94
	수직력	201.984	410.96
χ = τ / 2	추력	10.45082	20.15
	수직력	156.0149	312.54

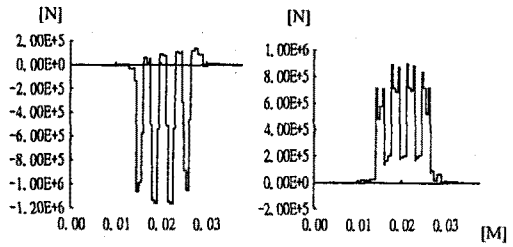


(a)자속흐름도 (b)접선성분자속밀도 (c)법선성분자속밀도



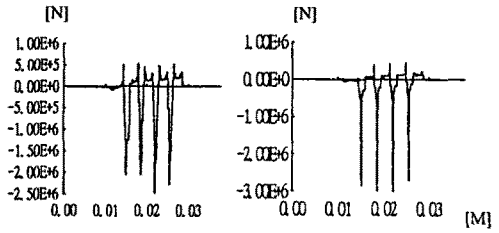
(d)추력 (c) 수직력

그림6. 각형 치와 슬롯을 갖는 HB형 LPM의 특성



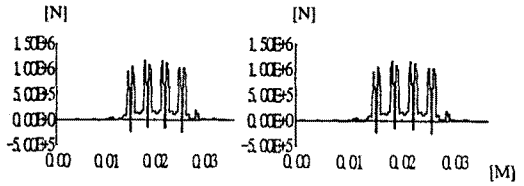
(a) 추력 (b)수직력

그림7. 각형 치와 반원형 슬롯의 편측식 HB형



(a) 추력 (b)수직력

그림8. 20° 사다리꼴 치와 각형 슬롯

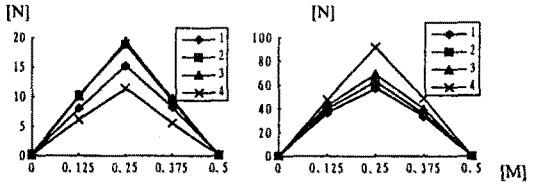


(a) 추력 (b)수직력

그림9. 10° 사다리꼴 치와 반원형 슬롯

HB형에서 치의 형태를 10°와 20° 의 경사를 갖는 사다리꼴로 하고 슬롯을 각형과 반원형으로 하였을 때 각각의 경우에서 추력과 수직력을 비교하였다. 그림2(a),그림3(a),그림4(a)와 동일한 형태의 치와 슬롯을 가진 HB형의 추력과 수직력 특성을 그림7,8,9에 각각 나타내고 있다.

이상과 같이 자기회로 구성요소에 의해 구분되는 VR, HB, PM형 LPM에 각형, 사다리꼴, 반원형의 치와 슬롯을 적용하여 자기회로의 분류에 의해 분석한 정특성의 결과는 그림10과 같다.



1. 각형 치와 슬롯 2. 각형 치와 반원형 슬롯

3. 20°경사 사다리꼴 치와 각형 슬롯 4. 20°경사 사다리꼴 치와 반원형 슬롯

(a) VR형의 치의 구조별 추력 (b) HB형의 치의 구조별 추력

그림10. 치의 구조별 추력특성비교

3. 결론

치와 슬롯의 형태에 따라 추력과 수직력 특성값이 어떻게 다른가를 비교 검토하였다. 동일한 입력에서 치와 슬롯의 형태를 달리하여 해석한 결과 20도 경사의 사다리꼴 치와 반원형 슬롯 형태의 LPM이 추력과 수직력 특성에서 매우 우수하였다. 그리고 동일한 입력 값과 같은 형태의 치와 슬롯에서 자로구성에 따른 VR, PM, HB형을 비교한 결과 HB형이 추력과 수직력특성이 가장 우수하였다.

참고문헌

1. 이은웅 ,"LPM고유모델 개발을 위한 전자기회로연구" 충남대학교산업기술연구소 보고서, 1992.12
2. S.A Nasar, I.Boldea,"Linear motin elcctric machines " John wiley & sons , pp. 134-173, 1976
3. 이은웅, 김일중,"LPM의 자기회로 해석을 위한 해석방법", 대한전기학회 추계학술대회 , PP. 32-36, 1990.11
4. 見城尚志," 스테핑 모터의 기초와 응용", 종합출판사(일본), 1988.5
5. " 공장자동화를 위한 200v/2kva선형 서보모타 및 제어기 개발 (LPM형) ", 한국전기연구소 보고서, 1992. 11