

비례제어밸브용 LPM의 3차원 유한요소 해석

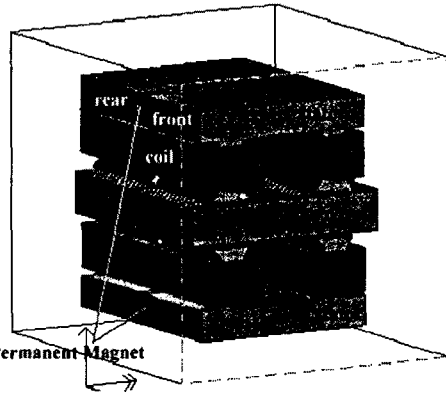
김성중*, 이은웅*, 김일중¹, 김성현^{**}, 이동주*, 최재영*
 * 충남대학교, ¹ 주성대, ** 천안공업대

3D FEM Analysis of LPM for Proportional control valve

Sung Jong Kim*, Eun Woong Lee*, Il Jung Kim¹, Sung Hun Kim^{**}, Dong Ju Lee*, Jae Young Choi*
 Chungnam Nat'l Univ.*, Ju Sung Colleague¹, Chun An Colleague^{**}

Abstract - Linear pulse motor have many advantages. (simple control circuit, high stiffness characteristics, etc.) So, it may replace the solenoid as the valve driving device without difficulty and give full play to control the valve accurately. In this paper, we will analyze the LPM for designed proportional control valve and will conform the complex magnetic circuits to be composed LF and TF path.

용할 수 있도록 하였다. 그림 1은 설계되어진 양측식 LPM의 설계모델이다.



1. 서론

가스나 유량의 공급을 비례적으로 공급하고자 할 때, 변하는 량을 검출하여 비례제어하는 산업용 기기에 전자비례제어 밸브의 사용이 증가되고 있다. 하지만, 국내에서는 아직 실용화 단계에 이르지 못하고 있어 선진국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정인데 직선운동, 정밀위치제어가 요구되는 비례제어밸브의 구동원으로 LPM을 사용하면 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

그림 1. 양측식 리니어 펄스모터의 설계모델

그래서 본 연구실에서는 전자비례제어 밸브용 구동장치를 개발하기 위하여 이미 제작하였던 편측식 LPM의 실험을 통해 얻은 설계자료와 특성 해석자료를 기초로 양측식 LPM을 설계하여 제작단계에 있다. [1][2][3][4][5] 양측식 LPM은 수직력 상쇄 효과와 발생 추력의 증대등의 장점을 가지고 있어 선진국에서는 인공심장이나 고정밀·고신뢰도를 필요로 하는 부분에 적용할 수 있도록 연구되었다. [6][7][8] 하지만, 비례제어 밸브용으로 설계한 양측식 LPM은 고신뢰성, 고효율의 성능을 만족시키기 위하여 구조적으로 특이한 형상이며 자기회로 구성이 입체적이고, 복잡해서 해석상에 어려움이 있다.

표 1. 해석모델의 사양

No. of Phase	2 [phases]	
No. of Pole	8 [poles]	
Airgap Length	100 [μ m]	
Step Length	0.4 [mm]	
Specification	stator	mover
No. of Tooth	10 [ea/pole]	-
Tooth Pitch	1.60 [mm]	1.60 [mm]
Tooth Width	0.64 [mm]	0.64 [mm]
Slot Width	0.96 [mm]	0.96 [mm]
Thickness of Core	44.5×2 [mm]	93.00 [mm]
Thickness of PM	4 [mm]	
Excitation Winding	100 [turn/phase]	-
Excitation Current	1 [A/phase]	-
Permanent Magnet	Nd-Fe-B Alloy	

본 연구에서는 설계된 양측식 LPM의 구동특성을 해석하고 비례제어 밸브 구동에서 요구되는 특성에 적합한 기초자료들을 얻어낼 수 있도록 3차원 유한요소 해석을 하고자 한다.

2. 비례제어밸브용 LPM

2.1 구조

비례제어밸브용으로 설계한 LPM은 지지기구의 부담을 줄이고 발생 추력을 높이기 위해서 양측식을 선택하였고, 치형상은 일반적인 하이브리드형 스텝모터나 LPM에서 많이 사용하는 원형슬롯을 사용하였다.

그림 1에서 보여진 것처럼 가동자의 앞쪽과 뒤쪽은 1/2 치피치 어긋나고, 고정자의 앞쪽과 뒤쪽사이에 Nd-Fe-B제질의 영구자석을 삽입해서 권선에 의해 발생한 기자력이 영구자석 기자력과 반대방향인 극의 기자력은 상쇄시킬 수 있도록 하였다.

또한 편측으로 4극을 갖는 리니어 펄스모터 2개가 가동자를 중심으로 서로 마주보는 형상으로 구성하여 본 연구실에서 제작한 2상 8극 HB형 리니어 펄스모터에서 이미 확인하였던 장점과 연구결과들을 심분 할

그리고 표1은 설계모델의 전기적·기계적 사양을 나타낸다.

2.2 자기적 등가회로

그림 2는 해석모델의 자기등가회로를 경험적으로 그린 것이다. 앞에서 서술했던 것처럼 1상 4극의 편축식 LPM을 수직력을 없애고 발생 추력을 높이기 위해 가동자를 중심으로 양측에 배치했기 때문에 매우 복잡한 자기등가회로가 된다. 즉 A, A', A', A' 이 위쪽에서 한 개의 자로를 형성하고, B, B, B', B' 이 아래쪽에서 자로를 형성하면서 가동자를 통하여 서로 연결된 복잡한 구조이다.

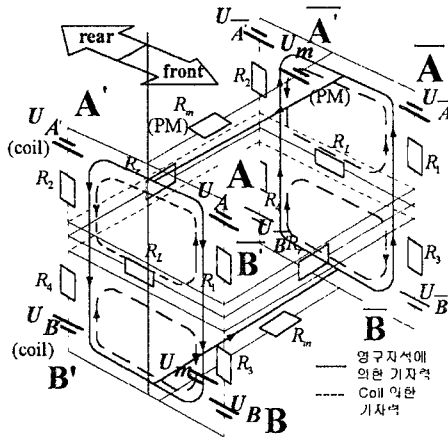


그림 2 해석모델의 자기등가회로

3. 3차원 유한요소 해석

3.1 해석모델의 모델링

설계모델의 구조와 자기등가회로가 그림 1과 그림 2에서 본 것처럼 매우 복잡하기 때문에 정확한 특성의 해석을 위해서는 3차원 해석이 필수적이다. 그림 3은 해석의 편의를 위해 극 부분을 간략화하여 해석모델을 요소분할한 요소 분할도이다.

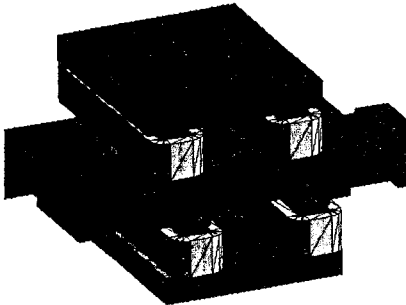
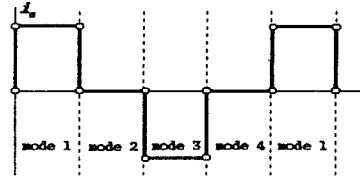


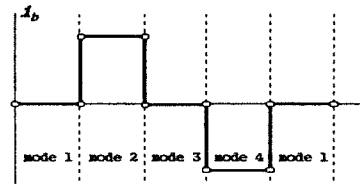
그림 3 해석모델의 초기 요소 분할도

영구자석과 철심재료의 비선형적인 특성곡선을 해석 Tool에 입력하여 사용함으로써 해석의 정확도를 높였고, 영구자석은 잔류자속밀도 $B_r = 1.2 [T]$, 보자율은 $H_c = 830 [kA/m]$ 인 재질을 사용하였다. LPM의 여자방법에는 기본적으로 1상과 2상여자에 의한 구동방법이 있다. 그림 4(a)는 1상 여자방식을

사용할때의 상전류 파형이고, 그림 4(b)는 2상 여자방식을 사용할때의 상전류 파형이다.



(a) 1상여자시 상전류 파형



(b) 2상 여자시 상전류 파형

그림 5. 1,2상 여자방식에서의 상전류파형

3.2 3차원 유한요소 해석결과

1상여자시의 3차원 해석결과를 나타낸 그림 6에서 여자되어진 상부 고정자의 자로구성이 영구자석의 영향에 의해 3차원적으로 된다.

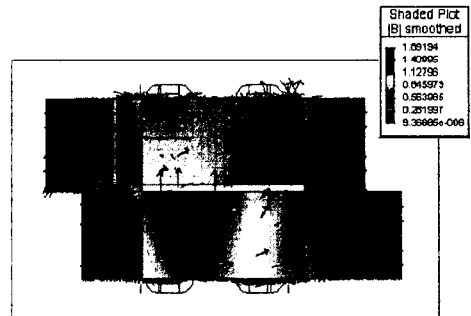
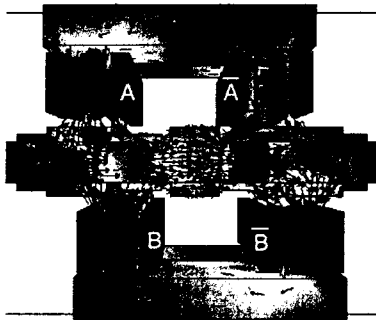


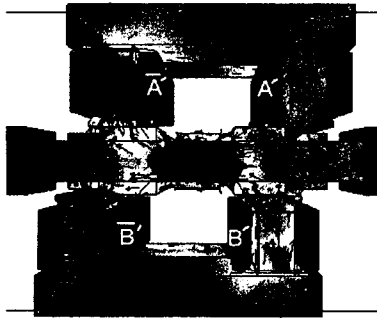
그림 6. 1상여자시의 해석결과

그런데, 양축식 LPM은 1상 여자를 하면 수직력이 여자되어진 상부, 혹은 하부에 집중되게 될뿐 상쇄되지 않으므로 양축식 LPM의 장점을 충분히 활용할 수 없다. 따라서, 2상 여자 모드로 하여야 한다.

그림 7의 (a)와 (b)에 2상여자시의 자속밀도 분포와 자속의 흐름을 나타냈다.



(a) 앞에서 본 자속밀도 분포 및 흐름도



(b) 뒤에서 본 자속밀도 분포 및 흐름도

그림 7. 2상여자시의 해석결과

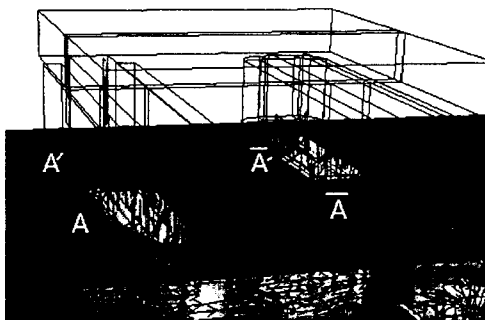


그림 8. 상부 고정자와 가동자 사이의 공극 중앙에서의 자속밀도 분포

그림 7 (a)에서 주 자로의 분포가 A극과 B-bar극을 통해 형성된다. 이론적으로 A-bar극과 B극은 영구자석에 의해 여자기자력이 상쇄되어 자속밀도분포가 나타나지 않아야하지만 실제로는 뒤쪽의 고정자극으로 넘어가지 못한 자속과 앞쪽의 고정자극에서 상쇄되지 못한 자속

들이 합해져 가동자와 철심을 통해 흐르는 것으로 판단된다. A-bar극 보다는 상대적으로 자기 저항값이 작은 B극에서 뚜렷하게 나타나는 것에서 알 수 있다. 또한 해석모델 뒷부분의 자속분포와 흐름을 나타낸 그림 7의 (b)에서 그림(a)에서와 비슷하게 나타나는 것에서 확인할 수 있다.

그림 8은 상부 고정자측과 가동자측의 공극의 중앙 부분의 공극 자속밀도 분포를 나타내고 있다. 이 그림에서 우리는 상부 고정자에서 주자로가 A극과 A-bar극을 통해 형성됨을 알 수 있고 또한 극에서의 포화가 이루어지는 부분이 자로가 짧게 형성되는 부분 즉, 주자로에 가까운 부분이라는 것도 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서 비례제어 밸브 구동용으로 설계된 양축식 LPM의 3차원 유한요소 해석을 하였다.

자기등가회로(그림 2)와 3차원 유한요소 해석결과(그림 7)로부터 설계구성한 LPM의 자로가 3차원적으로 복잡하게 형성되는 것을 확인하였으며 이는 이론과 크게 다르지 않았다.

또한 자로가 가장 짧게 형성되는 부분에서 포화가 먼저 이루어 짐을 확인하였다.

본 연구에서는 등가적으로 극부분을 간략화하여 해석하였지만 해석하는데 있어서의 정확성을 높이기 위해 간략화하지 않은 실제모델을 해석한다면 보다 정확한 모터의 특성들을 알아 낼 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이은용, 김일중, 김성현, "편축식 리니어펄스모터(LPM)의 자기회로 설계와 제어기 개발", 대한전기학회논문지, 44권 6호, pp.743-749, 1995.
- [2] 김일중, "자기회로의 평형을 고려한 하이브리드형 리니어펄스 모터의 특성해석", 박사학위논문, 충남대, 1995.
- [3] 이동주, 이은용, "리니어 펄스모터에서 치 형상이 기자력 불평형이 정추력 특성에 미치는 영향", 대한전기학회논문지, 49권 3호, 2000.
- [4] 김성중, 이은용, 김성현, 우성봉, 김준호, "영구자석을 고려한 HB-type LPM의 정추력 해석", 2000년도 합동춘계 학술대회 논문집, pp.199-201, 2000.
- [5] 이은용, 김일중, "2상8극형 HB형 리니어펄스 모터(LPM)의 자속분포와 정특성 해석", 대한전기학회논문지, 42권 9호, pp 9-18, 1993.
- [6] H. Yamada, "Performance Analysis of Flat Linear Pulse Motor for Implantable Artificial Heart", JIEE, MAG-87-146, 1987.
- [7] H. Yamada, "Improvement of Characteristics on Linear Pulse Motor for Artificial Heart Drive", JIEE, LD-89-18, 1989.
- [8] M. Maeda, "Structure and problems of Linear Pulse Motor for implantable Artificial Heart", JIEE, LDMAG-91-08, 1991.