

양측식 리니어 펄스 모터의 특성 해석

김성중*, 이은웅, 김성헌**, 이동주, 우성봉, 김준호
 충남대학교* · 천안공업대학**

Characteristic Analysis of Double-side Linear Pulst Motor

Kim, Sung-Jong* · Lee, Eun-Woong · Kim, Sung-Hun** · Lee, Dong-Joo · Woo, Sung-Bong · Kim, Jun-Ho
 Chung-Nam National University* · Chunan Technical College**

Abstract - Double-side LPM may be replaced the solenoid as the valve driving device with out difficulty and give full play to control the valve accurately. Double-side LPM's magnetic structure is so complex by the cubic effect configuration that finite element analysis is required.

Thus, in this paper, by 2D and 3D finite element analysis, we got the flux distribution and static thrust force curves of designed double side LPM.

1. 서 론

본 연구실에서는 그 동안 편측식 LPM을 설계·제작하여 추력특성 및 위치 정밀도 등의 주요 특성을 해석하고 실험을 통하여 확인한 바가 있다[1][2][3][4]. 이러한 해석 및 실험을 통해 얻은 LPM의 기초 설계자료와 여러 특성 해석자료를 기초로 하여 양측식 LPM을 설계·제작하였다. 설계 모델은 ① 2개의 고정자 사이에서 가동자를 이동하게 하는 양측 여자방식을 채용함으로써 자기적 흡인력과 자속손실을 경감하게 한다. ② 철심은 포화자속밀도가 높은 코발트강으로 하고 영구자석은 희토류계 자석을 사용한다는 전자기적 특징을 갖고 있다.[5]

본 논문에서는 제작되어진 양측식 LPM의 기본적인 자기회로의 특성을 고찰하고, 2차원 유한요소해석과 3차원 유한요소해석법을 통해 복잡하게 구성되는 자기회로를 확인하고 가동자와 고정자의 상대적인 변위에 따른 정추력 특성을 해석하였다.

2. 양측식 리니어 펄스모터

2.1 LPM의 구조

제작된 양측식 LPM은 고정자 사이에 가동자가 있고, 각 고정자는 2개의 적층 철심사이에 영구자석을 끼운 형태로 되어 있다. 각 철심은 2개의 극으로 되어 있으며 치는 공간적으로 $\tau/2$ 어긋나 있다. 가동자의 양측에는 2열씩 치가 배열되어 있는데 이 편측 2열의 치는 서로 치가 $\tau/2$ 어긋나서 배치되어 있고 안팎으로는 공간적으로 $\tau/4$ 어긋나 있다. 코일은 편측 2개씩 양측 합이 4개이고, 각각은 적렬로 접속되어 있다. 이 편측의 코일을 여자하면 고정자의 치와 가동자의 치가 일치하는 위치에서 안정점을 유지한다. 이때에 한쪽 코일의 여자를 전환하면 $\tau/4$ 어긋난 위치로 안정점은 이동하게 된다. 이 동작을 반복하는 것에 의해 $\tau/4$ 씩 스텝 응답을 얻을 수 있으므로 2상 여자의 경우는 1상 여자에 대하여 $\tau/8$ 씩 안정점을 유지하게 된다.

표1은 기본설계사양을 그림1은 실제 적용한 가동자의 세부치수를 그리고, 그림2는 시작기 모델의 세부명칭을 보여준다.

표1. 양측식 LPM의 설계사양

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]	

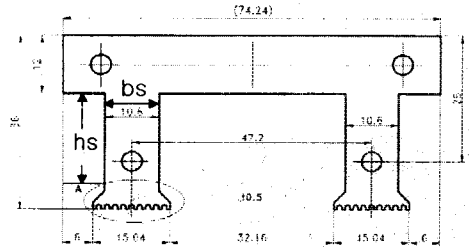


그림 1. 고정자의 설계치수

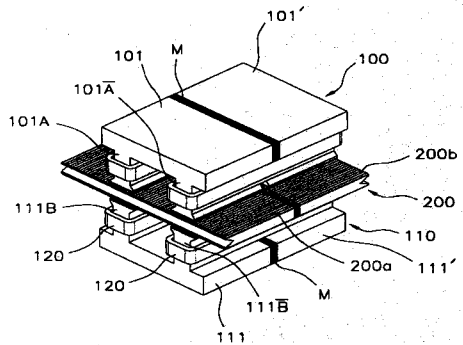


그림 2. 시작기 양측식 리니어펄스 모터 명칭

100: 고정자 철심(상측) 101A:자극A 101B: 자극 B
 110: 고정자 철심(하측) 111B:자극B 111A: 자극 A
 200:가동자 120:여자권선 M:영구자석

3. 정추력 특성 해석

3.1 양측식 LPM의 유한요소해석

양측식 리니어필스 모터는 편축식에 비해 다소 복잡한 자기회로로 구성되기 때문에 단순히 해석적인 방법으로 정추력 특성을 정확하게 해석하기는 어렵다. 그리고, 공극에 인가되는 영구자석의 기자력과 여자전류에 의한 권선 기자력의 상호작용에 의해 공극자속분포가 크게 영향을 받기 때문에 그 결과 발생하는 추력 특성에 영향을 미치게 된다.

그림3에서 보여지는 것처럼 한 극에 해당하는 간소화된 2차원 해석모델을 가지고 가동자의 위치에 따른 자속분포와 정추력 특성을 해석하였다[6].

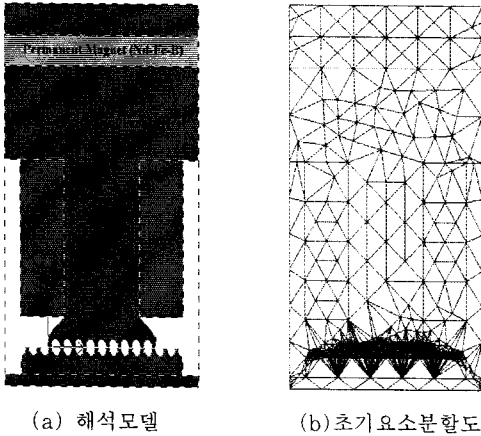


그림 3. 2차원 유한요소모델

그리고, 그림4처럼 복잡하게 발생하는 자로의 구성을 확인하고 좀더 정확한 특성의 해석을 위해 3차원으로 모델링하여 해석함으로써 자속분포와 정추력 특성을 얻을 수 있었다[7].

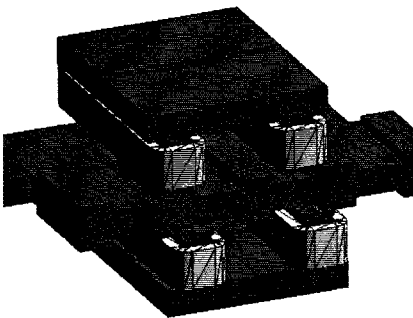


그림 4 3차원 해석모델의 초기 요소 분할도

3.2 자속밀도분포

그림5는 그림3(a)의 해석모델의 권선에 $I_a = 1.0[A]$ 를 인가한 경우에, 2차원 유한요소법으로 가동자의 주요 위치에서 치 및 극에 분포하는 자속 분포를 나타내고 있다.

자속 분포도에서 알 수 있는 바와 같이 고정자와 가동자의 상대적인 변위가 $x = \tau/4$ 또는 $x = \tau/3$ 일 때 보다 변위가 $x=0$ 일 때 고정자의 영구자석 부근의 자속밀도

가 높아 쉽게 포화된 것은 이 위치에서의 공극 자기 저항이 상대적으로 작기 때문에 공극에서의 기자력 강도가 상대적으로 작아 상대적으로 큰 기자력이 영구자석이 위치한 계철 부근에 집중되기 때문으로 판단된다.

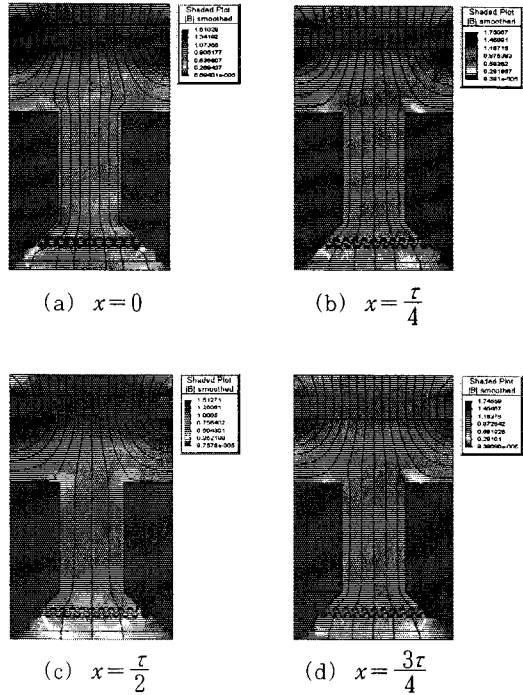


그림 5. 치의정렬상태에 따른자속밀도분포

그림 6은 3차원으로 모델링된 해석모델의 2상여자모드에서 모드별 자속밀도분포를 해석모델의 정면에서 본 그림이다.

mode 1의 상부 core를 보면 여자전류에 의한 기자력과 영구자석에 의한 기자력이 같은 방향인 왼쪽 극으로 자속이 많이 흐르고 구조적으로 치가 정렬되지 않고 여자전류와 영구자석에 의한 기자력의 방향이 반대인 오른쪽 극은 자속의 흐름이 거의 없는 것을 볼 수 있다. 이것은 또한 하부 core에서도 마찬가지이다. 따라서 mode 1에서는 주자료가 상부 core의 왼쪽 극과 하부 core의 오른쪽 극에서 형성되어지는 것을 볼 수 있다.

mode 2에서도 mode1에서와 마찬가지로 상부와 하부의 극에서 여자전류에 의한 기자력과 영구자석에 의한 기자력의 방향이 일치하는 곳에 주자료가 형성되고 두 기자력의 방향이 반대인 곳에서 서로 상쇄되어 자속밀도가 거의 분포하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 다만 mode 1과 다른점은 mode 1에서는 상부와 하부의 주자료가 형성되는 극이 대각선이었지만, mode 2에서는 서로 일직선상에서 주자료가 형성된다는 것이다. 따라서, front core 와 rear core에서 주자료가 형성되는 극이 서로 대각방향이므로 한쪽으로 힘이 치우치는 일은 없지만 mode 1에 비해 상대적으로 mode 2의 분포가 한쪽으로 집중되므로 이 부분의 상철환시에 추력의 맥동이 있을 것으로 예상된다.

mode 3은 mode 1의 경우와 여자 되어지는 극의 방향만 반대이고 그 현상들은 일치한다. 또한 mode 4는 mode 2의 경우와 같다.

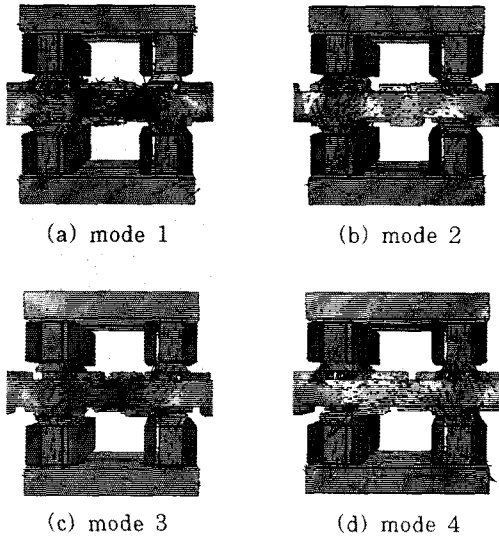


그림 6. 2상여자시 모드별 자속밀도분포

3. 정추력 특성 해석결과

그림 7은 2차원 유한요소해석 결과로부터, 고정자와 가동자의 상대적인 변위에 따른 정추력 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 정추력 특성이 거의 정현적으로 분포함을 알 수 있다.

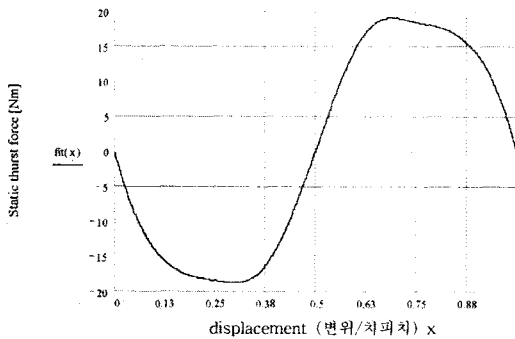


그림 7. 2차원 해석에 의한 정추력 곡선

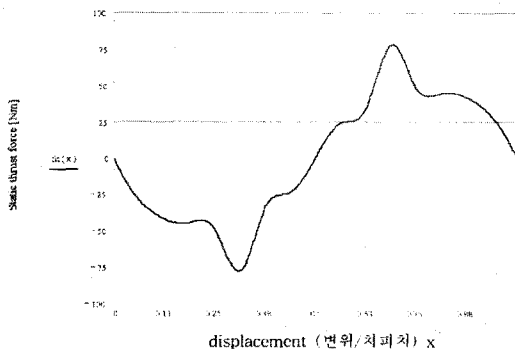


그림 8. 3차원 해석에 의한 정추력 곡선

그림 8은 3차원 유한요소해석 결과로부터 고정자와 가동자의 상대적인 변위에 따른 정추력 특성곡선을 해석한 것이다. 2차원 해석의 결과에 따른 정추력 곡선이 거의 정현적인 것에 비해 3차원 해석에 의한 정추력 곡선은 맥동 성분을 포함하고 있음을 볼 수 있는데 이것은 2차원 해석의 경우 한 극에 대해서만 해석하는데 비해 3차원 해석의 경우는 8개의 극 모두에 대해서 해석이 이루어지므로 각각의 극에서의 합성추력의 형태로 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

또한 리니어필스 모터를 구동할 때에는 1/4 치피치마다 상절환이 일어나는데 3차원 해석에 의한 특성곡선을 보면 안정점에서의 앞뒤로 1/4 치피치의 구간에서는 정현적인 특성을 보여준다. 이것은 특성곡선상에서 맥동이 다수 포함되어 있는 중간구간에서는 상절환을 통해 또다른 상에서 1/4치피치의 정현적인 구간을 운전하게 되므로 결국 전체적으로 모터가 거의 정현적인 형태의 추력을 갖고 운전된다는 것을 의미한다.

따라서, 제작된 양측식 리니어필스 모터는 90도 위상차를 갖는 정현적인 전류를 각 권선에 인가하고 그 발생 추력이 정현적이라고 가정하고 구동하는 마이크로 스텝 제어방식에서 적합한 자기적인 구조를 갖고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 시작기로 제작한 양측식 LPM의 2차원과 3차원 유한요소해석을 통해 치의 정렬상태에 따른 자속밀도 분포와 2상여자모드시 모드별 자속밀도 분포를 얻어낼 수 있었고, 각각의 해석결과로 정추력 특성을 해석하여 그래프로 나타내었다. 해석결과로부터, 설계되어진 양측식 LPM의 정추력이 운전구간에서 거의 정현적으로 분포함을 알 수 있었고, 이것은 구조적, 기계적 결합에 의해 발생할 수 있는 추력의 맥동을 줄이고, 정밀 위치 제어를 하기위해 마이크로스텝제어를 하기에 무리가 없다는 것을 의미한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이은용, 김일중, "2상8극형 HB형 리니어필스 모터(LPM)의 자속분포와 정특성 해석", 대한전기학회 논문지, 42권 9호, pp 9-18, 1993.
- [2] 이동주, "리니어 필스 모터의 구동특성 해석 및 마이크로 스텝제어", 석사학위논문, 충남대, 1998.
- [3] 김성현, "횡자속형 LPM의 정밀위치제어에 관한 연구", 박사학위논문, 1999.
- [4] 이동주, 이은용, 김성현, "리니어 필스 모터에서 치 형상 및 기자력 불평형이 정추력 특성에 미치는 영향", 대한전기학회논문지, 49권 3호, 2000.
- [5] 김성현, 이은용, 이동주, 김성중, 김옥환 "비례제어 밸브용 LPM의 특성해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, pp.891-893, 2000.
- [6] 이동주, 이은용, 김성현, 김일중, 김성중 "양측식 리니어 필스 모터의 2차원 유한요소해석" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, pp.760-762, 2000.
- [7] 김성중, 이은용, 김일중, 김성현, 이동주, 최재영 "비례제어 밸브용 LPM의 3차원 유한요소해석" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, pp.620-622, 2000.