

비례제어 밸브용 LPM의 특성 해석

김성현^o, 이은웅^{*}, 이동주^{*}, 김성종^{*}, 김옥환^o
 천안공업대^o, 충남대^{*}

Characteristic Analysis of LPM for Proportional Control Valve

Kim, Sung-Heon^o, Lee, Eun-Woong^{*}, Lee, Dong-Ju^{*}, Kim, Sung-Jong^{*}, Kim, Ok Whan^o
 Chonan technical college^o, Chungnam National University^{*}

Abstract - Because of linear operation by direct drive and compact system, and the free accumulation of position error, LPM is suitable for proportional control valves actuator. In this study, to develop electromagnetic proportional valves actuator we designed tooth shape of double sides LPM and suggested the driving principle based upon the excitation method. It's the magnetic structure is so complex by the cubic effect configuration that finite element analysis is required. By the 3D finite element analysis, we got the magnetic distribution of LPM and analyzed static thrust force characteristics. By this analyzation, we obtained basic data required for the practical use of driving system for the proportional control valves. Thus, considering electrical and mechanical constants we could design and manufacture double sides LPM for the proportional control valves.

때문에 3차원 유한요소해석을 통하여 LPM의 자속분포를 구하고 정추력특성을 해석한다. 이러한 해석을 통하여 비례제어 밸브용 액추에이터의 실용화에 필요한 기초자료를 확보하고, 전기적 상수와 기계적 상수를 고려한 비례제어밸브용 양측식 LPM을 설계·제작하고자 한다.

2. 비례제어밸브용 LPM의 구성

2.1 구조

그림 1은 양측식 LPM의 구성을 나타내고 있다. LPM의 고정자측에는 "Π"자 형태의 적층철심을 편측으로 2개 4극으로 배치하고, 양측 8개의 극이 공극을 사이두고 있는 구조이다. 양측 고정자사이에 가동자가 있고, 각 고정자는 2개의 적층철심사이에 영구자석을 끼운 형태로 되어 있다. 각 철심은 2개의 극으로 되어 있으며 치는 공간적으로 $r/2$ 어긋나 있다. 가동자의 양측에는 2열씩 치가 배열되어 있는데 이 편측 2열의 치는 서로 치가 $r/2$ 어긋나서 배치되어 있고 안팎으로는 공간적으로 $r/4$ 어긋나 있다. 코일은 편측 2개씩 양측 합이 4개이고, 각각은 직렬로 접속되어 있다. 이 편측의 코일을 여자하면 고정자의 치와 가동자의 치가 일치하는 위치에서 안정점을 유지한다. 이때에 한쪽 코일의 여자를 절환하면 $r/4$ 어긋난 위치로 안정점은 이동하게 된다. 이 동작을 반복하는 것에 의해 $r/4$ 씩 스텝 응답을 얻을 수 있으므로 2상 여자의 경우는 1상 여자에 대하여 $r/8$ 씩 안정점을 유지하게 된다.

그림2에 시작기 양측식 LPM의 완성된 사진을 나타내고 있다. 표 1에 LPM의 기계적 사양과 전기적 사양을 나타냈다.

1. 서 론

최근 생산설비가 소량·다품종 생산에 알맞도록 기능이 다양하고 성력화된 자동화 기기로 발전함에 따라 각종 유·공압 액추에이터는 고기능, 고정밀도가 요구되고 있다. 가스나 유량의 공급을 비례적으로 공급하고자 할 때 변하는 제어를 검출하여 비례제어하는 산업용 기계 전자비례제어 밸브의 사용이 증가되고 있다.(1)

이와같은 전자비례제어 밸브의 구동장치로 직접구동으로 직선운동을 얻을 수 있고, 개루프 제어시 위치오차가 누적되지 않아 시스템을 소형경량화할 수 있는 리니어펄스모터(LPM)가 적합하다. 비례제어 밸브용으로 설계한 양측식 리니어펄스모터(Double side Linear Pulse Motor, DLPM)는 고신뢰성, 고폭력의 성능을 만족시키기 위하여 구조적으로 특이한 형상을 가지고 있다. 비례제어밸브용 LPM을 고성능화하기 위한 전기적 특징은 ①2개의 고정자사이에 가동자를 이동하게 하는 양측 여자방식을 채용하므로써 자기적 흡인력과 자속손실을 경감하게 한다. ②철심은 포화자속밀도가 높은 코발트강으로 하고 영구자석은 회도류계 자석을 사용한다. ③자기적 구조는 입체적 구성에 의하여 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 3차원 유한요소 모델에 의해 해석한다.(2)

본 연구에서는 전자비례제어 밸브용 구동장치를 개발하기 위하여 양측식 리니어 펄스 모터의 치형상을 설계하고 여자 방식에 따른 구동원리를 제시한다. 자기적 구조는 입체적 구성에 의하여 복잡한 구조로 되어 있기

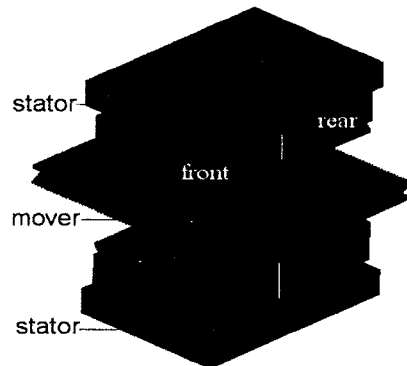


그림 1. 양측식 LPM의 구조
 Fig. 1 Structure of Double sides LPM

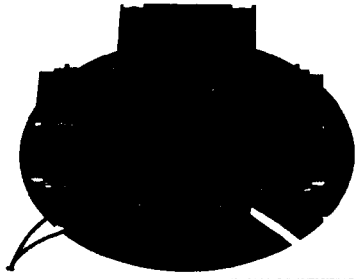


그림 2. 시작기 LPM의 사진
Fig. 2 Photograph of Prototype LPM

2.2 구동원리

그림 4에서 여자는 4개의 권선에 의해 형성되고 각각 권선은 영구자석을 끼운 상태의 2극에 감겨져 있다. 고정자 철심의 각 극(A, A', B, B', \overline{A} , \overline{A}' , \overline{B} , \overline{B}')에 감긴 A상여자 권선과 B상여자 권선은 극성이 반대가 되도록 직렬로 접속하였다. 이때 그림 3과 같은 2상여자전류(MODE 1)가 흐르면 그림 4의 (a), (b)의 앞 철심의 극 A, \overline{B} 에는 영구자석에 의한 기자력(\rightarrow)과 여자전류에 의한 기자력(\rightarrow)의 방향이 일치하기 때문에 합성자계가(\Rightarrow)는 증가하고, 극 \overline{A} , B에서는 기자력의 방향이 반대이기 때문에 합성자계가 상쇄되어 "0"이 된다.

동시에 뒤 철심의 극 \overline{A}' , B'에는 영구자석에 의한 기자력(\rightarrow)과 여자전류에 의한 기자력(\rightarrow)의 방향이 일치하기 때문에 합성자계(\Rightarrow)는 증가하고, 극 \overline{A}' , B'에서는 기자력의 방향이 반대이기 때문에 합성자계가 상쇄되어 "0"이 된다.

같은 시퀀스에 의해서 2상여자전류(MODE 3)가 흐르면 그림 4의 (c), (d)의 앞 철심의 극 \overline{A} , B에는 영구자석에 의한 기자력(\rightarrow)과 여자전류에 의한 기자력(\rightarrow)의 방향이 일치하기 때문에 합성자계(\Rightarrow)는 증가하고, 극 A, \overline{B} 에서는 기자력의 방향이 반대이기 때문에 합성자계가 상쇄되어 "0"이 된다.

동시에 뒤 철심의 극 \overline{A}' , B'에는 영구자석에 의한 기자력(\rightarrow)과 여자전류에 의한 기자력(\rightarrow)의 방향이 일치하기 때문에 합성자계(\Rightarrow)는 증가하고, 극 \overline{A}' , B'에서는 기자력의 방향이 반대이기 때문에 합성자계가 상쇄되어 "0"이 된다.

따라서 MODE 1의 경우 공극에서의 자기저항이 최소가 안정점은 극 A, 극 \overline{A}' , 극 B', 극 \overline{B} 이 되고, MODE 3의 경우 공극에서의 자기저항이 최소가 안정점은 극 \overline{A} , 극 \overline{A} , 극 B, 극 \overline{B}' 가 되어 고정자는 양측에서 가동자측과 자기적 균형을 유지하기 된다. 그러므로 양측식 LPM의 구동 드라이버는 2상 여자방식이 적당함을 알 수 있다. 그림 5는 위의 시퀀스를 나타낸 것이다.

Table 1. Spec. of Double-side LPM Model

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]	

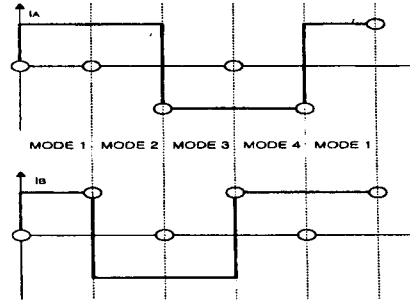
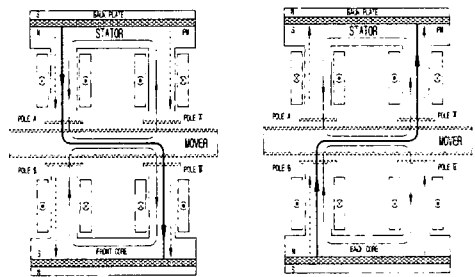
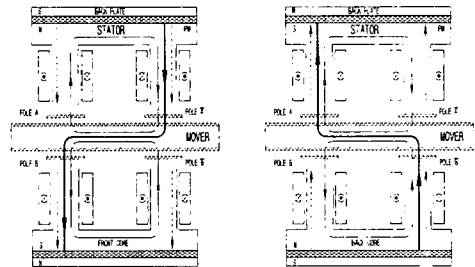


그림 3. 바이폴라 2상여자
Fig. 3 Bipolar 2 phases excitation



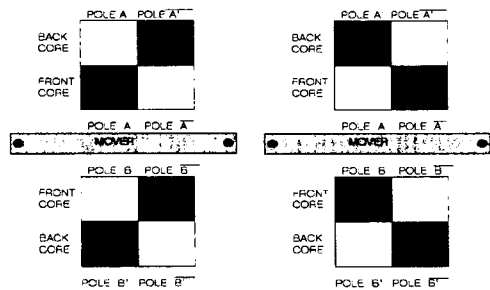
(a)Front core(MODE 1) (b)Back core(MODE 1)



(c)Front core(MODE 3) (d)Back core(MODE 3)

그림 4. LPM의 구동원리(2상여자)

Fig. 4 Operating principle of LPM(2 phase excitation)



(a) MODE 1 (b) MODE 3

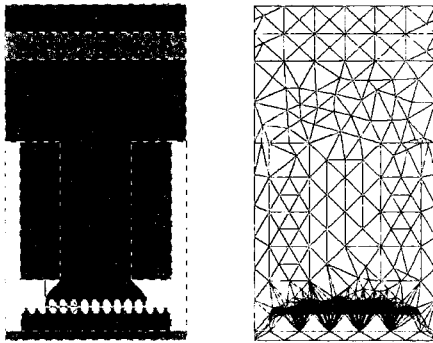
그림 5. LPM의 여자 시퀀스(2상여자)

Fig. 5 Excitation sequence of LPM(2 phase excitation)

3. 특성 해석

3.1 해석 모델

극 선단에는 그림 6에 표시된 것과 같은 치부를 구성하고, 각 극은 가동자측 치부와 1/4의 위상차를 가지고 배치되어 2상 여자방식의 양측 LPM을 구성하고 있다. 그림 6(a)는 고정사의 제철부분의 투자율이 매우 커서 기자력 강도가 무시할 만큼 작다고 가정한 간략화된 해석 모델이고, 이 모델의 극에 위치한 권선의 턴 수는 100(turns)이고 인가된 전류는 1.0 [A/phase]이다. 그림 6(b)는 유한요소해석에 사용된 해석영역의 초기요소망을 나타내고 있다. 그리고 해석의 정밀도를 높이고자 Polynomial order는 2로 하여 해석하였고 해석영역의 상부와 하부에는 자연경계조건을 적용하여 해석하였다.



(a) Analysis model (b) Initial mesh
그림 6. 유한요소모델
Fig. 6 Finite element model

3.2 정추력 계산

전체 해석에 의해 얻어진 치부의 대향부분의 자속밀도 (B_z , 성분)를 각각에 대하여 구하고, 이것을 경계조건으로 치부를 해석하면 상세한 자속분포가 얻어진다. 이로부터 맥스웰 응력법에 의한 추력값을 계산할 수 있다. 여기서 각 극의 추력은 식(1)과 같다.

$$F_i = F_{xi} \cdot L \cdot n \quad (1)$$

F_i : i 번째의 극의 추력

여기서, F_{xi} : 치부 해석으로 구한 1치마다의 추력

L : 철심 적층 두께, n : 1극당의 치수

그래서 LPM 전체에서 발생하는 추력 F_t 는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$F_t = \sum_i F_i - \sum_j \bar{F}_j \quad (2)$$

F_i : i 번째 강한 극 추력

여기서,

\bar{F}_j : j 번째 약한 극 추력

따라서 LPM의 2상여자에 의한 정추력 F_s 의 기본식은 식(3)과 같다.

$$F_s = - \frac{2\sqrt{2} \pi NI}{\tau} \Delta\phi_m \sin \frac{2\pi}{\tau} x \text{ [N]} \quad (3)$$

τ : 치피치, NI : 기자력, $\Delta\phi_m$: 영구자석에 의한 자속진폭

그림 7은 유한요소해석 결과 가동자의 변위에 따른 정추력 곡선을 나타낸 것으로 추력특성이 정현적인 분포를 나타내고 있다.

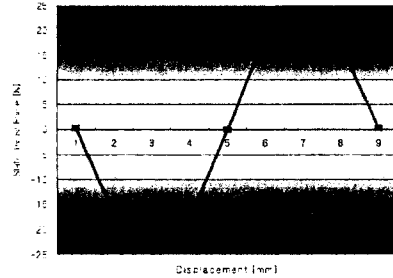


그림 7. 정추력 곡선
Fig. 7. Static thrust force curve

4. 해석 결과

그림 8은 자속밀도 벡터도를 나타낸 것으로 공극부를 자기저항 요소로 표시한 3차원 전체 해석의 결과이다. A상에 전류를 흘리면 극 A , 극 \bar{A} 의 자속분포는 영구자석과 여자전류에 의한 기자력이 같은방향으로 나타나며, 극 A' , 극 \bar{A}' 는 기자력의 방향이 반대이기 때문에 합성자계가 상쇄되는 분포를 갖는다. 이와같은 전체자속의 흐르는 상태는 그림 4와 같이 된다는 것을 알 수 있다.

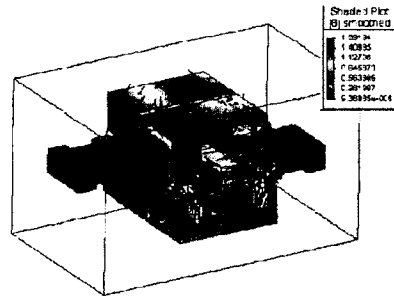


그림 8. LPM의 3차원 유한요소 해석
Fig. 8. 3D Finite Element Analysis

5. 결 론

본 연구에서는 전자비례제어 밸브용 구동장치를 개발하기 위하여 양측식 리니어 필스 모터의 치형상을 설계하고 여자 방식에 따른 구동원리를 제시하였다. 자기적 구조는 입체적 구성에 의하여 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 3차원 유한요소해석을 통하여 LPM의 자속분포를 구하고 정추력특성을 해석하였다. 이러한 해석을 통하여 비례제어 밸브용 액추에이터의 실용화에 필요한 기초자료를 확보하고, 전기적 상수와 기계적 상수를 고려한 비례제어 밸브용 양측식 LPM을 설계·제작하였다.

(참고 문헌)

- (1) 山田 -, 佐藤石 - 外 5人, 리ニア리스모타 驅動型 兩心人工心臟의 開發成果, 電氣學會研究會 資料, MAG-91-37, LD 91-11, pp.101-114(1991)
- (2) 山田 -, 佐藤石 - 外 5人, 人工心臟驅動용 리ニア리스모타의 性能改善, 電氣學會研究會 資料, MAG-89-106, LD 89-18, pp.77-87(1989)