

## 리니어 모터구동 진공펌프 설계 및 해석

김동수\*(한국기계연구원 정보장비그룹), 안영희\*(한국기계연구원 정보장비그룹), 이원희(한국기계연구원 정보장비그룹), 김광영(한국기계연구원 정보장비그룹)

### The Design and Analysis of Vacuum Pump Driven by Linear Motor

D. S. Kim(IT Machinery Group. KIMM), Y. H. Ahn(IT Machinery Group. KIMM), W. H. Lee(IT Machinery Group. KIMM), K. Y. Kim(IT Machinery Group. KIMM)

#### ABSTRACT

In this paper, it has been investigated that the design and simulation of vacuum pump driven by linear motor. Vacuum pump consists of unified plunger and piston part, coils, inlet valve and outlet valve. Operating principal of vacuum pump show that air is to flow to go inside through the inlet valve when the magnetic force (16N) is exerted, whereas, air is to flow to go outside through outlet valve when spring force (14.8N) is exerted. The results of simulation, it was turned out that reached vacuum pressure was about -0.55 bar at 150 seconds, magnetic force was loaded with 16 Newton, displacement of actuator was about 8mm.

**Key Words :** Vacuum Pump (진공 펌프), Vacuum Pressure (진공압), Linear Motor (선형 모터), Plunger(가동자), 전자기력(Magnetic Force)

#### 1. 서론

초 저소음형 LM 구동 진공 펌프(Vacuum Pump)는 모터와 압축부가 일체구조가 된 실린더 내를 피스톤만이 전자석의 흡인력과 스프링의 복원력에 의해 전원주파수(60Hz)와 같은 횡수로 왕복 구동하며, 전자기력이 작용할 때 피스톤이 스프링을 압축시키면서 흡입(Inlet)밸브를 통해 공기를 흡입하고 전자기력이 끊어지면 압축되어 있던 스프링의 복원력으로 피스톤을 되 밀고 배출(Outlet)밸브를 통해 실린더 바깥으로 압축공기를 토출하는 메커니즘으로 되어 있다. 그리고 모터와 압축부의 일체구조로 되어 있어서 다른 구조에 비해 소형, 경량화를 실현 할 수 있으며 흡입된 공기를 노즐에서 코일로 불어넣는 방식을 채용 함으로서 자기 냉각을 이룰 수 있다. LM 구동 진공 펌프의 응용은 건강, 의료기기, 컴퓨터, OA 기기, 주택관리기기, 정밀측정기기, 식품가공판매기, 자동입욕장치, Pumping 장치, 좌변기, Counter, Air Bearing,, 청정 공기작업실, 치과치료기, 자동판매기, 흡착기, 인쇄장치, 전자제품 이송장치 등의

광범위한 분야에 응용되어진다. LM 구동 진공 펌프의 국내외 기술 동향을 살펴보면 다음과 같다. 국내의 경우 LM 구동 진공 펌프기술수준은 선진국에 비해 25%정도에 못 미칠 정도로 미흡하나 Linear Force Motor 기술, 피스톤기술, 스프링기술, 컨트롤 밸브기술은 어느 정도 보유하고 있는 실정이며, 진공펌프 기술개발은 전무하며 100% 수입에 의존하여 사용하고 있다. 국외의 경우 LM 구동 진공 펌프는 무 급유(oilless)피스톤과, 다이어프램(Diaphragm) 등이 주류를 이루고 있으며, 이중 Oilless 피스톤형이 전세계시장의 80%이상을 점유하고 있는 실정이며, 최근의 진공펌프 개발추세는 콤팩트(Compact)화, 소형경량화, 저 소비전력화, 초 저소음화, 고성능-고 신뢰성화, 저 가격화로 가는 추세에 있다. 따라서, 본 연구에서는 우수한 성능을 가진 Linear Motor, 가동자 일체형 피스톤 설계기술을 확보하고, 목표 도달진공압(-0.55 bar)인 초 저소음형 LM 구동 진공 펌프를 설계하고 상용소프트웨어인 EM Pulse 와 AMESim 을 이용하여 진공 펌프의 해석결과를 통해 검증하고자 한다.

## 2. LM 구동 진공펌프 설계

### 2.1 진공펌프의 구성

LM 구동 진공펌프의 설계도 및 제작품은 Fig. 1, 2 에 나타내었으며, 주요구성은 왕복 구동하는 Plunger 일체형 피스톤부, 코일부, 흡입밸브, 배출밸브 등으로 구성되어있다. 주요규격을 보면 구동부에 사용된 스프링의 재질은 SUS 이며, 탄성계수  $G = 7 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ , 자유장은 28.5 mm, plunger의 재질은 순철, 피스톤의 재질은 AL6063, 밸브의 재질은 NBR+Steel 등이다.

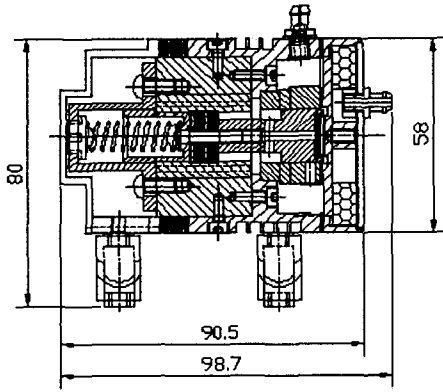


Fig. 1 Design and front view of vacuum pump

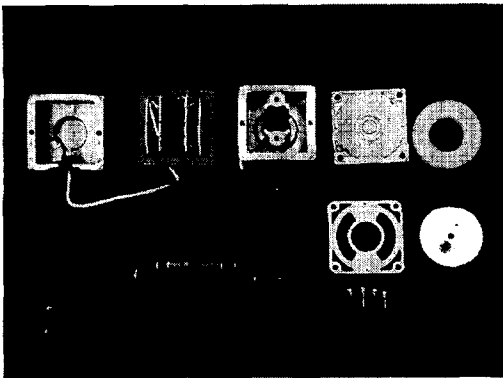


Fig. 2 Manufactured of vacuum pump and parts

### 2.2 진공펌프 설계사양

Table 1 은 설계된 LM 구동 진공 펌프의 설계사양을 나타내었다.

Table 1 Design Specification

No	개발항목	단위	사양
1	도달진공도	bar	-0.55
2	토출공기량	L/min	3
3	정격전압	Volt	AC110
4	소비전력	Watt	15
5	소음	dB	40
6	흡입구경	mm	$\phi 6$
7	토출구경	mm	$\phi 6$
8	전류	A	0.35
9	내구성	시간	3000

## 3. Linear Motor 해석 및 결과

### 3.1 Linear Motor 구성 및 설계변수

Linear Motor 의 구성은 Fig. 3 에 나타내었다. 플라스틱 보빈에 코일을 감은 고정자, 코어, 가동자 (Plunger)로 구성되어 있고 코일에 정현파나 구형파를 인가하면 가동자는 일정 스트로크(Stroke)로 고속 왕복운동을 하게 된다. 입력전압이 Positive 일때 철심이 자화되어 전자력에 의해서 가동자가 전진하게 된다. 반면에 입력전압이 Negative 일 때는 다이오드 정류에 의해서 전류가 차단되면서 스프링의 복원력에 의해서 후진하게 된다.

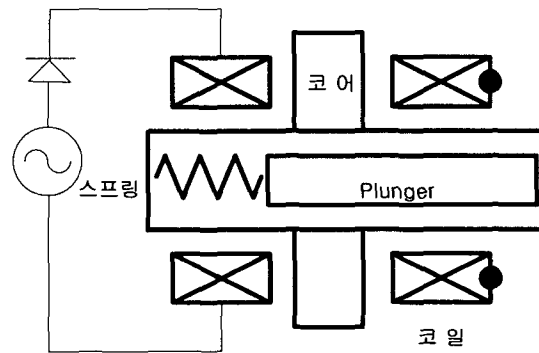


Fig. 3 Schematic of linear motor

전진시에 가동자에 작용하는 힘은 식(1)과 같다.

$$\vec{F} = \vec{\tau} \times \vec{B} \quad [N/m] \quad (1)$$

가동자가  $x$  방향으로만 운동하므로 발생추력은 식(2)과 같다.

$$\vec{F}_x = lNB_g i = K_b i \quad (2)$$

여기서

$l$  : 유효길이  
 $N$  : 권선수  
 $B_g$  : 자속밀도  
 $i$  : 코일에 흐르는 전류  
 $K_b$  : 유기전압상수 ( $INB_g$ )  
 설계변수로는 흡인력, 코일턴수, 인덕턴스, 역기전력, 여자전류 등이 있다. 여기서 흡인력에 대한 기본식은 식(7)과 같다.

$$F = \frac{B_g^2 S}{2\mu_0} = \frac{10^7}{8\pi} B_g S [N] \quad (3)$$

여기서

$B_g$  : 공극의 자속밀도 [T]  
 $S$  : 공극의 단면적 [ $m^2$ ]  
 면적  $S$  가 되는 자극면이 평행으로 서로 마주보고 있는 중량  $m$  의 부하를 스트로크  $X_m$  과 각주파수  $\omega$  로 구동하기 위하여 전자석을 교류로 여자한 경우의 흡인력의 순시치를  $B_g = B_m \sin \omega t$  와  $\sin^2 \omega t = (1 - \cos 2\omega t)/2$  을 이용하여 평균 흡인력  $F_0$  을 구하면 식(4)과 같다.

$$F_0 = \frac{SB_m^2}{4\mu_0} = \frac{10^7}{16\pi} SB_m^2 = \frac{10^7 \Phi_m^2}{16\pi S} [N] \quad (4)$$

### 3.2 Linear Motor 모델링 및 해석결과

Linear Motor 의 시스템 모델링은 Fig. 4 과 같다.

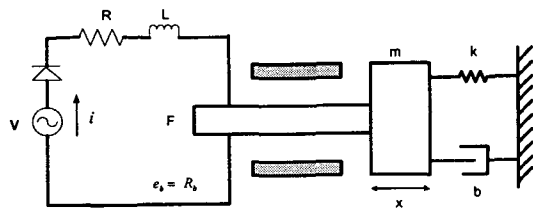


Fig. 4 Modeling of Linear Motor

코일에 흐르는 전압 방정식은 식(5)과 같다.

$$V = R_i + L \frac{di}{dt} + K_b \dot{x} \quad (5)$$

여기서

$R$  : 코일저항  
 $L$  : 인덕턴스  
 $K_b \dot{x}$  : 코일의 운동에 의한 유기 기전력  
 기계적인 운동방정식은 식(6)과 같이 나타낸다.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx \quad (6)$$

여기서,  $m$  은 가동부 질량이며,  $b$  는 마찰계수 이다. 식(6)을 식(5)로 대입하고 라플라스 변환하여 인가 전압  $v$  와 속도  $v$  사이의 전달함수  $G(s)$ 를 구하면 식(7)과 같이 나타내어진다.

$$G(s) = \frac{1/K_b}{(1 + \frac{SR_c m}{K_b^2})(1 + \frac{SL}{R})} \quad (7)$$

여기서,  $R_c m / K_b^2$ ,  $L / R$  은 각각 기계적, 전기적 시정수를 나타낸다. 따라서  $L, R, m, K_b$  의 정수가 모터의 응답성을 결정하게 된다.

Linear Motor 를 상용 소프트웨어인 EM Pulse 를 이용하여 해석한 결과를 Fig. 5, 6, 7 에 나타내었다.

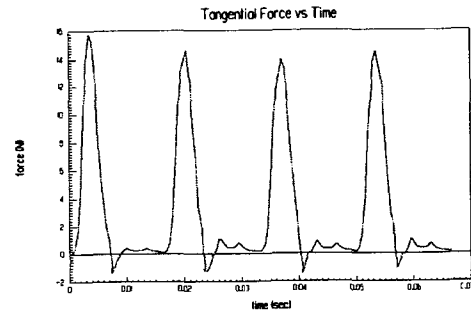


Fig. 5 Response characteristics of Tangent Force

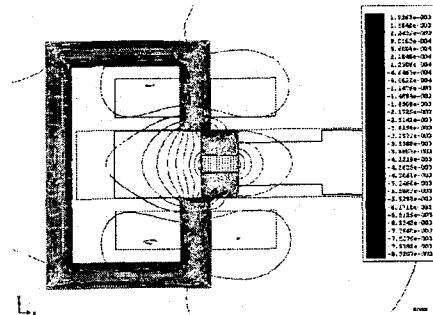


Fig. 6 Contour of magnetic flux

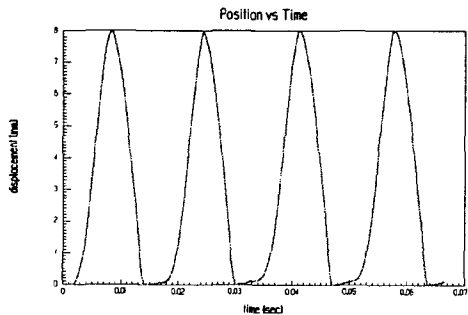


Fig. 7 X Position of permanent piston

그림에서 보면 전자력이 최대 16N 작용하며 한 주기전에 전자력의 감쇄는 스프링 힘에 의한 것으로 판단되며 변위는 8mm 움직이는 것으로 나타났다.

#### 4. 진공펌프 모델링 및 압력 해석 결과

LM 구동 진공펌프를 모델링 하여 Fig. 8 에 나타내었다. 공기 흡입시 작용하는 자력의 힘은 16N 으로 작용하고 있으며, 공기 토출시 작용하는 스프링의 힘은 14.8N 의 힘으로 작용시켜 해석을 수행한 결과를 Fig. 9 에 나타내었다.

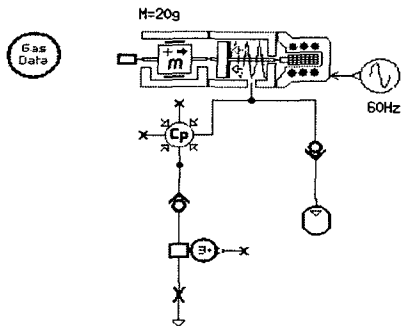


Fig. 8 Modeling of Vacuum Pump

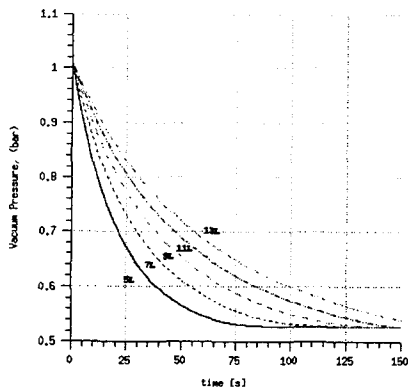


Fig. 9 Comparison reached vacuum pressure, at variation of volumetric

Fig. 9 에서 도달진공압 -0.55 bar 정도 도달하는데 150 초 정도 걸리는 것을 알 수 있으며, 챔버 체적이 증가함에 따라 기울기가 완만해짐을 알 수 있다

#### 4. 결론

본 연구에서는 고 응답성을 가지는 Linear Motor 로 구동 되는 진공펌프를 설계 제작 하고 해석결과를 제시하였다. 구동부에 전달되는 힘과 스트로크의 응답성을 알아 보기 위하여 EM Pulse 로 해석을 수행 한 결과 8mm 스트로크가 일어나도록 충분한 전자력의 힘 16N 의 힘이 작용하고 있는 것을 확인 하였으며, 빠른 주파수 응답성과 위치 응답성을 나타내었다. 진공펌프의 도달 진공압력을 보기 위하여 AMESim 으로 해석을 수행한 결과 150 초 정도에 진공압력 -0.55 bar 에 도달함을 확인할 수 있었다.

최종적으로 Linear Motor 로 구동 되는 진공펌프에서 구동부의 힘, 스트로크, 목표 도달진공압 등의 원하는 성능을 해석을 통해 확인하였다.

#### 후 기

향후 실험을 통하여 해석결과와 실험결과를 검증하고자 한다.

#### 참고문헌

1. S.M. Jang, S.S Jeong, C. Kweon, H.C. Park, S.J. Moon, C.I. Park, T.Y. Chung, "가동코일형 리니어 왕복 액츄에이터의 동특성," KIEE, Vol. 49, pp. 180 - 187, 2000.
2. S.M. Jang, S.S Jeong, C. Kweon, H.C. Park, S.J. Moon, C.I. Park, T.Y. Chung, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동코일형 리니어 액츄에이터의 설계제작 및 제어정수 도출," 대한전기학회, 48B 권 5 호, pp. 241 - 248, 1999.
3. K.C. Kim, I.S. Jung S.B. Yoon, D.S. Hyun, "압력을 고려한 압축기형 선형 액츄에이터의 동특성 유한요소해석에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 168-170, 1997.
4. 김광선, "진공기술 실무," 성원에드워드(주) 진공기술연구소, 1999