

### 30W 선형전동기를 이용한 공진구동형 액추에이터 제작과 특성

우병철\*, 홍도관, 김종무, 강도현  
한국전기연구원 산업전기연구단

#### Development & properties of 30W Linear Motor with Resonance Spring for Linear Actuator

Byung-Chul Woo, Do-Kwan Hong, Jong-Moo Kim and Do-Hyun Kang  
Korean Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - IT기기, 통신기기, 반도체 기기 등은 점점 더 고성능화되면서 속도도 빨라지고 기능도 추가되는 추세이다. 이러한 IT기기들은 속도와 더불어 열문제는 더욱더 크게 강조되고 있는 실정이며 개인용으로 많이 사용하고 있는 PC의 경우 더 이상 속도를 높이지 못하고 있는 실정이다. 이러한 열문제는 100W까지는 Heat pipe 등으로 냉각이 가능하였으나 거의 한계수준에 도달한 상황이다. 이러한 상황에서 일부 메니아들은 빠른 속도의 통신이나 작업을 위해서 수냉식 전용 냉각기를 설치하여 현재의 기능보다 더 좋은 환경에서 사용하고자 하고 있다. 본 연구에서는 수냉식 냉각기보다 더 큰 열용량을 가진 CPU의 냉각을 위해서 냉매 압축기를 적용하고자 하였으며 냉매 압축기에 사용하기 위한 선형 압축기를 개발하고자 하였다. 즉 선형압축기에 의해서 압축된 냉매를 사용하여 CPU를 냉각하기 위해서 본 연구를 시작하였다. 본 연구에서는 선형전동기를 공진구동형 스프링을 장착하여 50-100Hz로 공진구동하는 액추에이터를 제작하여 그 특성을 알아보았다. 먼저 제작과정과 제작후 추력과 공진구동 설계 및 공진구동시 전기적, 기계적 특성변화를 확인하였으며 피스톤과 실린더 및 흡입밸브와 배기밸브 등을 장착하여 선형압축기로서 시운전까지 수행하였다.

코일 구동형에 비해서 복잡하지 않아 쉽게 제품화가 가능하기 때문이며 다소 효율은 낮지만 코일 구동형에 비해서 생산성과 작업의 효율성이 좋기 때문이다. 선형전동기는 자속 이동방향과 구동방향이 일치하는 종자속형(Longitudinal Flux Linear Motor, LFLM)과 자속이 만들어 내는 평면과 이동방향이 횡방향인 횡자속형(Transverse FLux Linear Motor, TFLM)으로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서 IT기기 냉각용 선형전동기 모델 중 횡자속 30W의 경우 60W 횡자속 선형전동기 모델에서 30W로 축소된 모델로 변경하면서 크기 축소에 따른 곡률반경이나 필수적으로 필요한 치수 등에 의한 영향 등 다양한 형상변화를 거치면서 최종 제작모형을 설정하였다. 설정된 제작모형을 각 부분의 형상변화를 영향을 알아보기 위해서 최적설계 기법을 도입하여 각부분의 치수를 다른 기준 치수와 비교하여 최적화된 모델로 선정하였다. 다음 그림은 30W 횡자속 선형전동기의 이동자의 형상이다. 그림에서 알 수 있듯이 이동자는 NdFeB 영구자속과 SMC 분말코어를 구성하기 위해서 Al spacer를 사용하여 고정하였으며 Al spacer안쪽에 피스톤과 실린더를 두어 압축기를 구동하는 방식을 선택하였다.

#### 1. 서 론

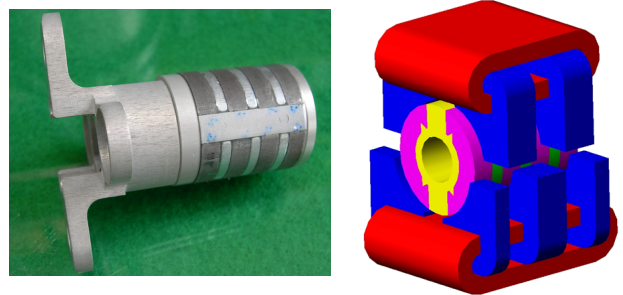
선형전동기는 회전하는 일반적인 모터에서 원형을 직선으로 편 상태로 직선으로 이동자와 고정자를 나열하면 선형전동기의 형상이 된다. 선형전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우세하다. 직선형의 구동시스템에서 회전형 전동기에 의해서 직선 구동력을 얻으려고 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어 시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음이 필연적으로 발생하므로 매우 불리하다. 선형전동기를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 얻으므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않기 때문에 구조가 복잡하지 않고 에너지 손실이나 소음이 발생하지 않고 정상적인 운전 속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 장점이 있다. 일반적으로 널리 사용하고 있는 유압이나 공압 방식의 선형구동에 비해서 선형전동기를 사용하면 출력면에서는 다소 떨어지지만 빠른 응답성, 반복성, 저속구동, 간단한 구조적 특성과 관리가 간편하다는 등의 장점을 가지고 있는 그 수요가 점차 증대되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 선형전동기를 구성하고 있는 시스템을 기준으로 단순 질량과 스프링으로 구성된 경우를 대상으로 구동특성을 알아보고 고유진동수 부근에서 구동할 경우에 발생하는 변위변화를 결정된 다음 탭핑과 부하변화에 따른 구동특성을 알아보았다. 특히 구동특성 중 주어진 입력 구동력에 따른 이동자의 위치변화를 시간에 따른 변화의 식으로 계산하면 입력 구동력의 주기성과 구동부의 구동의 주기성 사이에서 발생하는 위상변화를 관찰할 수 있다. 즉 힘의 최대점과 이동자의 위치의 최대점에 도달하는 시간을 계산한 다음 시간차를 주기로 계산하여 위상각으로 표시하면 주어진 특성을 정확히 표현할 수 있게 된다.

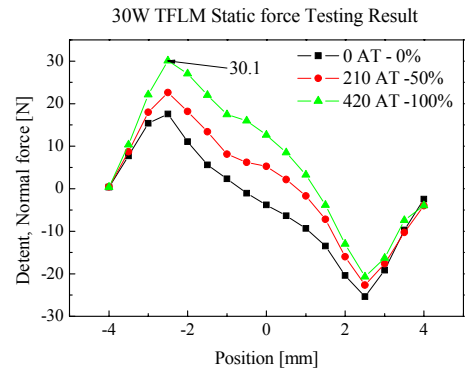
#### 2. 본 론

##### 2.1 선형전동기의 구성

선형전동기는 선형 액추에이터에서 가장 핵심적인 부품으로서 선형 액추에이터의 free piston을 구동하는 동력 발생의 핵심부품이다. 이러한 선형전동기는 크게 영구자석 구동형(moving magnet type), 코일 구동형(moving coil type), 철심구동형(moving iron type)으로 크게 3가지로 구분되지만 여러 가지 형상의 혼합형들이 많이 사용되고 있는 실정이고 최근들어 영구자석 구동형에 대한 연구가 가장 활발한 실정이다. 이와같이 영구자석 구동형의 선형전동기에 많은 연구가 집중되고 있는 것은



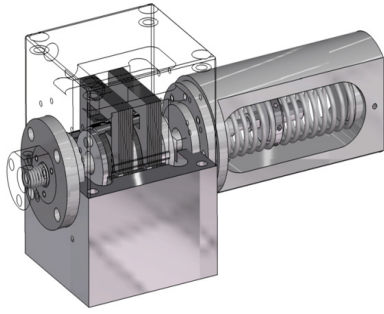
<그림 1> 30W 횡자속 선형전동기의 구동부, 지지부의 구성



<그림 2> 30W 횡자속 선형전동기의 추력특성

##### 2.2 공진구동 설계

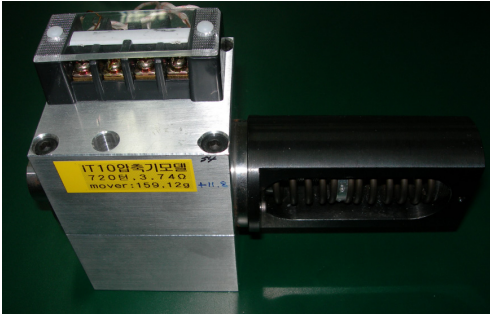
공진구동 시스템은 이동자와 스프링의 유효질량과 지지된 스프링과 유체의 압력으로 인해서 발생하는 에어스프링 성분의 조합에 의해서 얻어지는 스프링 강성으로 계산된다. 공진구동 시스템으로 설계시 스프링의 무게를 고려하여야 하며 정적일 경우 50%의 무게로 계산하고 동적일 경우 33%의 무게를 계산하여 이동자의 무게와 스프링 사이의 공진구동 시스템을 설계하여야 한다.



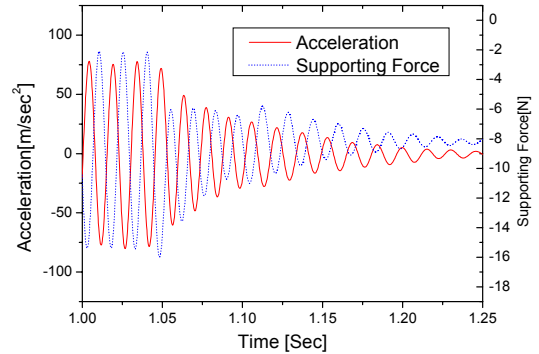
전류 차단시 얻어지는 가속도의 변화를 이용하여 그 순간 damping 계수를 측정할 결과 무부하 상태에서 구동중인 선형압축기의 damping 계수 C는 4.09[N.sec/m]로 측정되었다.

$$\delta = \ln \frac{x_j}{x_{j+1}} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$$

또한 전류 차단시 지지부에 가해지는 힘을 측정해 보면 가속도의 변화와 위상변화가 거의 90도 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 가속도계에서 얻어진 결과를 이용하여 반력의 주파수와 가해진 힘의 형태를 알 수 있었으며 그 반대로 전류에 의한 가진력을 이용한다면 능동제어로 진동을 없앨 수도 있음을 알 수 있다.



〈그림 3 선형전동기를 적용한 공진구동 액추에이터의 형상〉



〈그림 6〉 선형액추에이터의 전류차단시 지지부 반력과 가속도 위상



〈그림 4〉 공진구동형 선형액추에이터의 스프링과 내부형상

그림 6은 선형액추에이터에서 전류차단시 지지부의 반력과 가속도의 변화를 동시에 측정할 결과로서 가속도와 지지부의 반력은 90도의 위상을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 외부 지지부의 반력의 정확한 측정만 한다면 구동중인 이동자의 구동특성을 정확히 예측할 수 있음을 알 수 있다. 본 특성은 공진구동 주파수로 공진구동형 액추에이터로 구동시 측정된 결과이다.

### 3. 결 론

30W 선형전동기를 적용하여 압축기용 선형액추에이터를 제작할 수 있었으며 공진구동형 선형액추에이터에서 추력특성과 전류차단에 의한 damping 계수를 측정할 수 있었다.

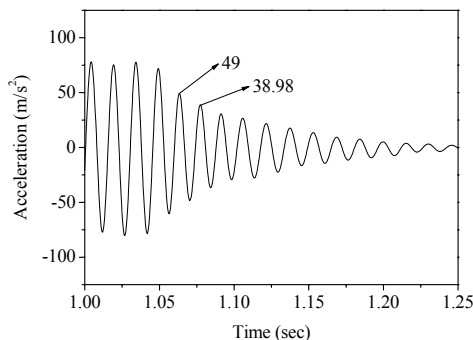
또한 공진구동 주파수로 구동중인 상태에서 가속도 성분과 지지부의 반력성분을 검토한 결과 90도의 위상을 가지고 있음을 확인하였다. 이러한 공진구동에 의한 지지부의 반력특성은 가속도 센서를 적용하지 않고서도 내부 압축기의 구동특성을 확인할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

### 2.3 공진구동형 선형액추에이터의 특성

그림 4는 공진구동형 선형액추에이터의 형상을 보여주고 있다. 그림과 같이 선형액추에이터는 공진구동용 스프링과 압축기의 냉매의 유출을 막기 위한 O링을 볼 수 있으며 공진구동형 스프링의 회전력을 보상하기 위해서 스프링 가이드를 설치하여 그 특성을 알아 보았다.

그림 5는 공진구동특성중 압축기의 내부 손실성분에 의한 감쇄특성을 알아보기 위해서 일정한 정상구동력을 얻을 수 있는 전류를 인가 후 전압을 차단하면서 스코프에서 얻어지는 가속도 성분을 분석하여 감쇄특성을 계산하였다.



〈그림 5〉 공진구동형 선형액추에이터의 감쇄특성 측정결과

- [1] 강도현, Herbert Weh, “철도 차량용 고출력 횡축형 전동기 설계에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 제 48(B)권, 제 6호, pp.301-308, 1999.
- [2] D.K. Hong, B.C. Woo, Optimum design of TFLM with constraints for weight reduction using characteristic function, IEEE Transactions on Magnetics Vol.43, No.4, pp.1613-1616, 2007
- [3] 우병철, 강도현, 홍도관, “횡자속 선형전동기의 추력특성에 따른 선형액추에이터의 동특성”, 대한전기학회논문집, 제 54(B)권, pp.16-20, 2006.
- [4] 우병철, 강도현, “공진형 선형 액추에이터의 감쇄지수 변화에 따른 과도 응답특성”, 대한전기학회학계, pp.1037-1039, 2004
- [5] B.C. Woo, D.K. Hong, J.H. Chang and D.H. Kang, Variation of Phase Difference between the Peak Value of Applied Current and the Maximum Position of Mover in Linear Actuator, IEEE Transactions on Magnetics Vol.43, No.6, pp.2576-2578, 2007
- [6] D.K. Hong, B.C. Woo, J.H. Chang and D.H. Kang, Optimum design of TFLM with constraints for weight reduction using characteristic function, IEEE Transactions on Magnetics Vol.43, No.4, pp.1613-1616, 2007