

# 리니어모터 시스템 구조설계에 관한 연구

은인웅(경기공업대 금형설계과), 이춘만(창원대 기계설계공학과), 황영국\*(창원대 대학원 기계설계공학과)

## A Study on the Structural Design of Linear Motor System

I. E. Eun(Dept. of Die & Mold Design, KINST), C. M. Lee(Dept. of Mech. Design & Manufacturing, CNU), Y. K. Hwang(Grad. Students, CNU)

### ABSTRACT

Development of a feed drive system with high speed, positioning accuracy and thrust has been an important issue in modern automation systems and machine tools. Linear motors can be used as an efficient system to achieve such technical demands. By eliminating mechanical transmission mechanisms such as ball screw or rack-pinion, much higher speeds and greater acceleration can be achieved without backlash or excessive friction. However, due to great power loss and magnetic attraction of the linear motors heating and deflection problems occur. Therefore, it is necessary to design strong structure, cooling device with high efficiency and light weight construction in designing stage of linear motors. This paper presents an investigation into a structural design of linear motor system. In this research, a new concept of moving table with high stiffness and of cooling plate is also introduced. Structure analyses are performed by using a commercial code ANSYS in order to evaluate the design safety.

**Key Words** : Linear motor system (리니어모터 시스템), Structural design (구조설계), Finite element analysis (유한요소해석)

### 1. 서론

최근 각종 산업의 발달과 더불어 FA, OA, 정보기기, 반송용 기기, 공작기계 등 전 산업 분야에 걸쳐서 고정도, 고속, 고가감속 및 고추력을 지닌 이송장치의 필요성이 증대되고 있다. 기존의 이송장치에서 위치와 속도를 제어하기 위한 기술로는 주로 회전형 전동기의 축에 볼스크류(Ball screw), 타이밍 벨트(Timing belt) 등의 직선변환기구를 결합하여 이용한 것이 대부분이었다. 그러나 이러한 이송장치는 직선변환기구의 종속에 따른 마찰, 백래시(Backlash) 등으로 인해 고정밀, 고속, 고가감속 등의 실현에 그 한계가 있다. 이에 최근 직접적인 직선구동이 가능한 리니어모터(Linear motor)를 이용하여 고속, 고정도, 고가감속을 얻기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

리니어모터는 기존의 직선운동기구와는 달리 별도의 직선변환기구를 사용하지 않고 전기에너지를 바로 직선운동에너지로 변환시켜주고, 비접촉 구동을 함으로 마찰에 의한 손실이 리니어 가이드에 한

정되어 고정밀도의 구동을 실현할 수 있으며, 이동부를 경량화시킴으로써 높은 속도 및 가속도를 쉽게 실현할 수 있다. 또한 접촉부가 적기 때문에 진동이 적고 저소음을 실현할 수 있으며, 적은 마찰 부분으로 빈도가 잦은 동작을 하더라도 높은 내구성 및 신뢰성을 실현할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다. 리니어모터가 가지는 특성을 효과적으로 활용하기 위해서는, 이동부의 경량화설계, 가동자와 고정자 사이에 작용하는 자기흡인력에 따른 굽힘 변형을 최소화하는 기술, 모터의 발열에 따른 효과적인 냉각판의 설계, 공기간극과 영구자석에 이물질의 침입을 막는 방진대책 등이 반드시 필요하다. 리니어모터가 아무리 우수한 특성을 가진다 하더라도 전체 시스템에서의 지지특성, 냉각특성 등이 나쁘면 제어성, 신뢰성 등에서 결정적으로 불리해지므로 앞서 언급한 리니어모터 시스템의 장점을 살릴 수 없다. 따라서 지지특성, 냉각특성 등을 고려한 적절한 리니어모터 시스템의 구조설계는 매우 중요하다.

이에 본 연구에서는 고강성, 경량, 고효율 냉각구

조의 영구자석형 리니어동기모터 시스템 구조설계를 위해 새로운 이송테이블, 냉각장치의 구조를 제안하고, 설계 검증을 위해 ANSYS를 이용하여 구조해석을 수행하였으며, 실물을 제작해 보았다.

## 2. 리니어모터 시스템의 구조설계 및 제작

### 2.1 개념설계

본 연구에서는 고강성, 경량, 고효율 냉각구조의 영구자석형 리니어동기모터 시스템을 설계하기 위해 여러 가지 구조를 검토해 보았다. 리니어모터의 구성은 크게 고정자와 가동자의 두 가지로 분류된다. 본 연구에서 개발하고자 하는 리니어모터는 코일부가 직선운동을 하는 가동자이며, 영구자석이 부착된 부분이 고정자로 구성된 형식이며, 직선 운동을 가능하게 하는 LM가이드, 테이블 등의 구조를 새롭게 제안하고, 구성을 최적화하여 고강성, 경량화, 고효율 냉각을 달성하고자 한다. 개발하고자하는 리니어모터의 목표사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of linear motor

Technical data	Specification
Continuous force [N]	1,000
Maximum speed [m/s]	3
Maximum acceleration [G]	3
Repeatability [ $\mu$ m]	1
Position accuracy [nm]	500

Fig. 1은 종래 대부분의 리니어모터 구성도를 나타낸 것으로 이런 방법은 이송테이블의 가공 및 조립이 쉬운 장점이 있으나, 영구자석에 의한 자기흡인력을 이송테이블에서 직접 지지하므로 가동부와 고정부 사이의 공극을 일정하게 유지하기 위한 고강성 구조를 위해 이송테이블의 두께가 커져야 하고, 이에 따라 가동부의 무게 중심이 높아지고 무거워짐으로서 리니어모터의 성능이 저하되게 된다.

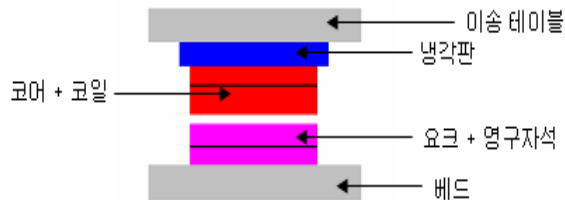


Fig. 1 Schematic drawing of linear moter system

Fig. 2는 새롭게 제안한 리니어모터의 구성도를 나타낸 것으로 LM 가이드에 의한 안내를 받고 리니

어모터에 의해 이송되는 이송테이블에 있어서 이송테이블 내에 냉각장치가 결합될 수 있는 홈을 형성하고, 홈에 냉각장치를 결합하여 리니어모터 시스템을 구성함으로써 모터 자체의 경량화와 더불어 기계설계에서 저중심 설계를 쉽게 함으로서 리니어모터의 성능이 향상될 것으로 기대된다. 또한 LM 가이드에 의한 지지점과 자기흡인력의 작용점이 가까우므로 변형량이 적어 가동자와 고정자의 공극을 일정하게 유지하기 위한 지지특성이 향상될 것으로 기대된다. 그러나 이런 구조를 위해서는 엄밀한 가공 및 자기흡인력을 지지하기 위한 냉각장치의 강성이 확보되어야 한다.

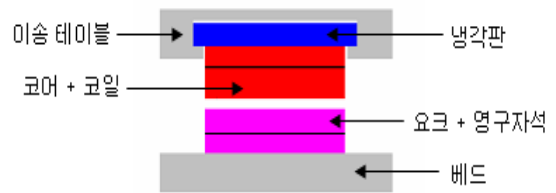


Fig. 2 Schematic drawing of linear moter system

### 2.2 상세설계 및 제작

상세설계 및 제작을 위한 전체적인 구조는 Fig. 2에 소개한 구조를 채택하였다. Fig. 3, 4는 리니어모터 시스템의 설계도 및 전체적인 레이아웃을 나타낸 것으로 이송테이블, 냉각판, 코어, 코일로 이루어진 가동자와 영구자석 및 요크로 이루어진 고정자, 가동자를 안내하는 LM 가이드 및 LM 블록, 고정자 등을 지지하는 베드로 이루어져 있다. 가동자의 구성은 이송테이블과 냉각판이 분리된 구조로 함으로서 이송테이블의 변형량이 최소화되도록 하였고, 이송테이블과 독립적으로 냉각장치의 구조변경만을 통한 고강성 구조의 확보가 가능하도록 하여 설계의 유연성을 증대시킬 수 있도록 하였다. 또한 리니어모터 시스템의 전체 높이는 102mm로 최대한 낮게 설계하여 추력의 작용점과 무게중심을 최대한 일치시켜 리니어모터의 성능을 향상시키고자 하였다.

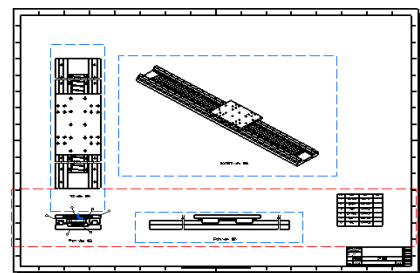


Fig. 3 Drawing of linear motor system

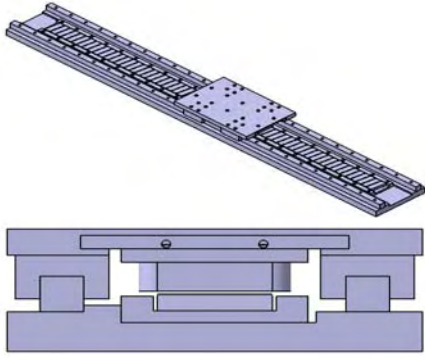


Fig. 4 Layout of linear motor system

자기흡인력을 지지하는 고강성 구조이면서 냉각 효율도 높이기 위해 Fig. 5에 보이는 구조로 냉각장치를 설계하였다. 그림과 같이 냉각배관이 필요 없는 냉각관을 형성하고 열교환이 이루어지는 열교환실을 저면이 개방되어 있는 다면체의 형태로 다수 구성함으로써 관의 마찰에 의한 에너지 손실을 줄이고, 열원인 코어에 직접 냉매를 분사함으로써 빠른 열교환이 가능한 구조로 하고, 냉각관 및 가동자의 온도구배를 최소화할 수 있도록 설계함으로써 리니어 모터의 성능을 향상시키고자 하였다.

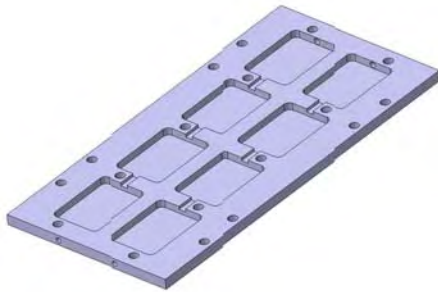


Fig. 5 The shape of cooling plate

Fig. 6, 7은 가공된 이송테이블 및 냉각관을 보여주고 있으며, 사용한 재질은 AL7075이다.

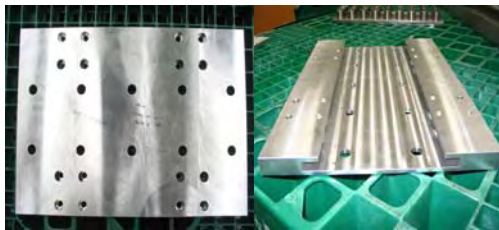


Fig. 6 Product of moving table

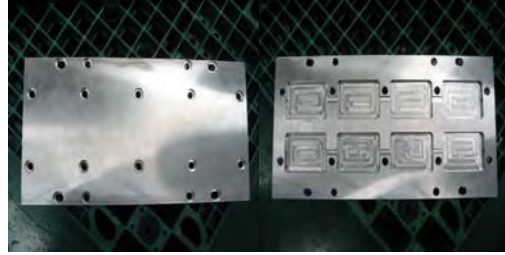


Fig. 7 Product of cooling plate

Fig. 8, 9는 제작된 베드 및 요크를 보여주고 있다. 시제품의 동추력 특성 평가를 위해 그림에 보이는 바와 같이 베드와 요크가 완전히 고정된 것이 아닌 0~10mm정도 상대운동이 가능한 구조로 되어있다. 이를 위해 V슬롯 및 강구를 사용하여 설계하였다.



Fig. 8 Product of bed and yoke

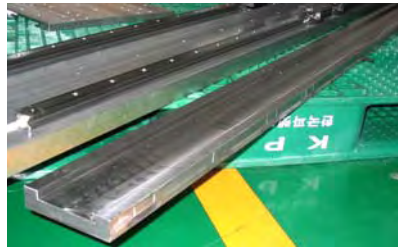


Fig. 9 Product of bed and yoke

Fig. 10은 전체 조립된 리니어모터 시스템을 보여주고 있다.



Fig. 10 Product of linear motor system

### 3. ANSYS를 이용한 구조해석

리니어모터 시스템의 지지특성 및 구조적 안정성을 검증하기 위해 상용 프로그램인 ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다.

#### 3.1 냉각판의 구조해석

Fig. 11은 리니어모터 시스템에서 자기흡인력을 직접적으로 받는 냉각판의 해석적 모델이다. 솔리드 요소로 모델링 하였고, 구조해석을 위해 이송테이블과 접촉되는 부분을 완전 구속시키고, 코어와 접촉되는 부분에 8,000N의 등분포하중을 적용하였다. Table 2는 모델링에 사용된 물성치를 나타내고 있다.

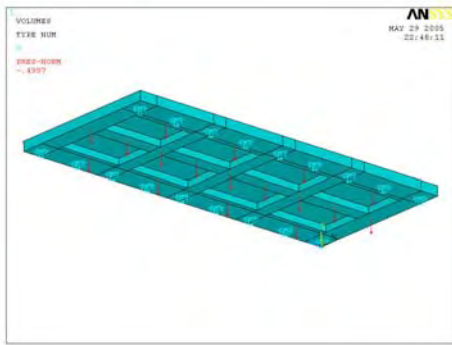


Fig. 11 Modeling of cooling plate

Table 2 Mechanical properties of materials

Materials	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
AL7075	72	0.33

정적 해석을 수행한 결과 냉각판 전체의 변형 형상 및 응력분포는 Fig. 12, 13 와 같다.

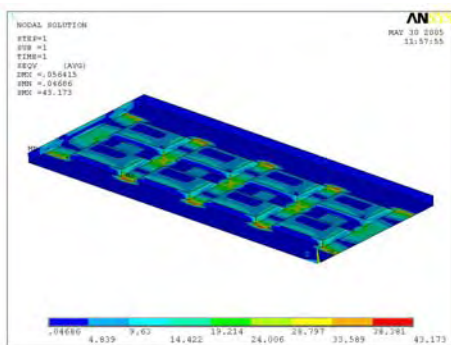


Fig. 12 Stress results by FEM

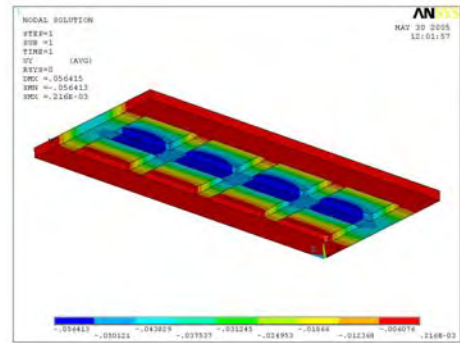


Fig. 13 Deformation results by FEM

최대 변위는 냉각판의 센터 부분에서 0.056413 mm가 나타났으며, Maximum von Mises stress은 Fig. 13에 보이는 지지점 부근에서 43.173MPa이 나타났다. 이는 강도측면에서 설계기준을 안전계수 3으로 두었을 때 고려한 재료의 허용응력인 145MPa 보다 적은 값이므로 von Mises yield criterion을 적용할 경우 안전하다. 또한 최대 변위 0.056413mm도 강성측면에서 허용할 만한 값으로 평가되므로 전체적으로 구조상 안전하다.

#### 3.2 이송테이블의 구조해석

Fig. 14는 이송테이블의 해석적 모델이다. 냉각판과 같이 솔리드 요소로 모델링 하였고, LM 블록과 접촉하는 부분을 완전 구속시키고, 냉각판과 접촉하는 부분에 8,000N의 등분포하중을 적용하였다. 모델링에 사용된 물성치는 냉각판과 동일하다.

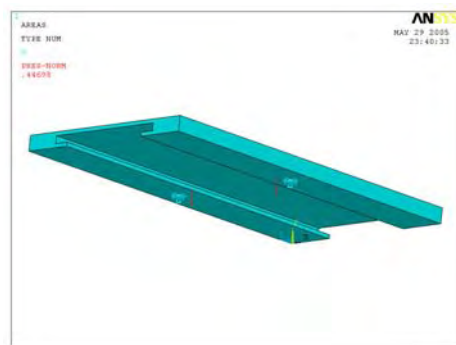


Fig. 14 Modeling of moving table

정적 해석을 수행한 결과 Fig. 15, 16에서와 같이 최대 변위 0.0386 $\mu$ m, 최대 응력 0.655958MPa이 나타났다. 이는 강성 및 강도측면에서 충분히 안전하다. 또한 이런 구조로 리니어모터 시스템을 구성할 경우 기준에 문제가 되던 자기흡인력에 의한 이송테이블

의 변형 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

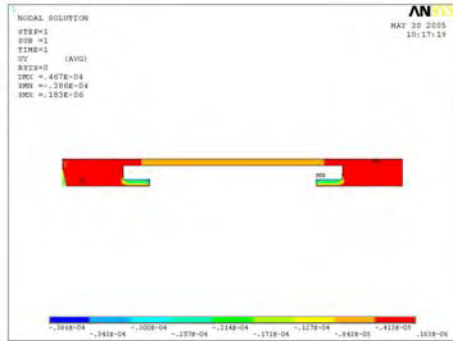


Fig. 15 Deformation results by FEM

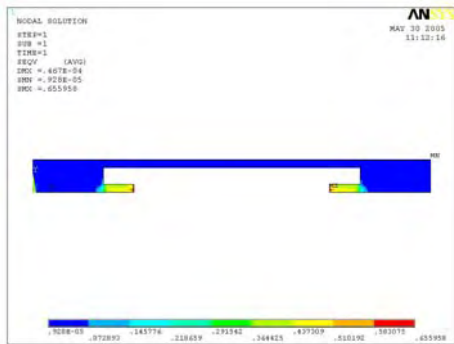


Fig. 16 Stress results by FEM

#### 4. 결론

고강성, 경량, 고효율 냉각구조의 리니어모터 시스템 구조설계를 위해 새로운 이송테이블, 냉각장치의 구조를 제안하고, 설계의 안정성을 검증하기 위해 ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 수행하였으며, 실물을 제작해 보았다.

1. 새롭게 제안한 이송테이블 구조에 있어서는 이송테이블 내에 냉각장치가 결합될 수 있는 홈을 형성하고, 홈에 냉각장치가 결합될 수 있는 구조로 함으로서 리니어모터 자체의 경량화와 더불어 기계설계에서 저중심 설계를 쉽게 함으로서 리니어모터의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 리니어모터의 냉각판에 있어서는 배관이 필요 없는 냉각판을 형성하고 열교환이 이루어지는 열교환실을 저면이 개방되어 있는 다면체의 형태로 다수 구성함으로써 관의 마찰에 의한 에너지 손실을 줄일 수 있고, 열원인 코어에 직접 냉매를 분사함으로써 빠른 열교환이 가능한 구조가 되고, 냉각판 및 가동자의 온도구배가 최소화됨으로서 리니어모

터의 성능이 향상될 것으로 예상된다.

3. ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 수행한 결과 제안한 리니어모터 시스템의 구조는 안전한 것을 확인할 수 있었다.

향후 제작된 리니어모터의 추력특성, 정밀도 특성, 운동특성 등의 평가를 통해 모터의 성능을 평가하고, 설계에 대한 검증을 해보고자 한다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 장석명, “리니어모터 기술”, Proceedings of KIEE, Vol. 48, No. 2, pp. 4-8, 1999
2. 會我部正豊 “머시닝센터용 리니어모터와 그 활용”, 기계&자동화, pp. 6-14, 2002
3. 정재한, 서경열, 박재완, 박재한, “고추력용 리니어 직류모터 Pilot 모델 개발”, 한국정밀공학회 추계 학술대회논문집, pp. 1002-1005, 2000
4. 은인용, "Linear Motor를 이용한 위치결정 기술", 한국정밀공학회지, 제17권 제12호, pp.20-25, 2000.
5. Eun, I.-U., "Comparison between Asynchronous and Synchronous Linear Motors as to Thermal Behavior", International Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol.2, No.3, pp. 61-68, 2001.
6. Gieras, J. F., Piech, Z. J., Linear synchronous motors, CRC Press, Boca Raton, pp. 256-263, 2000.