

고추력용 리니어직류모터 Pilot 모델 개발

정재한*, 서경열, 박재완, 박재한(삼익공업 기술연구소)

Development of Linear DC Motor Pilot Model for High Thrust

J. H. Joung, K. Y. Seo, J. W. Park, J. H. Park(Samick Industrial Technical Center)

ABSTRACT

The goal of this study is to develop a linear DC motor with high thrust, speed and stiffness for machine tool. In the first phase of this study, We has made a pilot model and measuring system. Using the measuring system, We could finished the performance test of the pilot model, which continuous thrust is 1,391N. Experimental values agree with the theoretical results well. In a certain sense, We are expecting the realization of linear motor with continuous thrust of 6,000 to 7,000N next time.

Key Words : Linear DC Motor(리니어직류모터), Nd-Fe-B(희토류자석), Measuring system(측정시스템)

1. 서론

리니어모터가 공작기계의 이송계로 적용하여 제품으로 실용화하게 된 것은 최근 5년 정도인데 아직 국내에서는 머시닝센터 등 공작기계에 적용된 사례는 거의 찾아볼 수가 없을 정도로 보급이 되지 않은 상태이다.

리니어모터의 다른 응용분야와 달리 공작기계, 특히 머시닝센터에 이용되는 리니어모터는 상당한 추력과 절삭저항에 대한 위치유지가 될 수 있는 강성을 가져야 하고 서브미크론(Submicron)의 고정밀 위치제어가 가능해야 한다. 이러한 기본성능과 더불어 이동자 코일에 대한 방열과 절삭칩에 대한 낙하방지구조 그리고 수직축 적용시 전원차단에 따른 낙하방지구조 등의 문제에 대한 대책이 필요하다.

근래 희토류계 영구자석(Nd-Fe-B)이 고성능화되고, 고속에서 고분해능을 가진 리니어스케일이 출시되는 등 주변기술이 향상되고 있으며, FEM을 이용한 전자기장 해석으로 보다 정확하고 효율을 높일 수 있는 설계기술이 발전되고 있다. 따라서 리니어모터의 직접구동(Direct Drive) 방식에 따른 장점이라 할 수 있는 고속·고가감속성을 충분히 발휘한다면 비가공시간 단축으로 생산성을 높일 수 있어 향후 공작기계 분야의 이송계로 적용이 더욱 확대될 것으로 기대한다.

2.1 Pilot 모델 사양

머시닝센터와 같은 공작기계에서 최대추력은 주로 가감속시에 생기며 대개 3,000 N 이상의 추력이 필요하다. 실제 선진업체의 모델은 정격추력이 8,000 N (최대추력:20,000 N)정도이며 공작기계 요구사항이 이보다 크게되면 리니어모터를 복수로 사용하여 시스템을 구성하게 된다.

공작기계용 리니어모터의 최종 개발목표사양은 정격추력 10,000 N, 최대속도 150 m/min, 가속도 5 G, 반복정밀도 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 으로 현재 세계 최고 제품의 수준이다. 이에 본격적인 공작기계용 리니어모터 제작에 앞서 생산기술 측면과 구동시 발생가능한 제반 문제점을 도출하기 위한 선행연구로서 Pilot 모델을 우선 제작하였는데 구조는 Fig. 1과 같다.

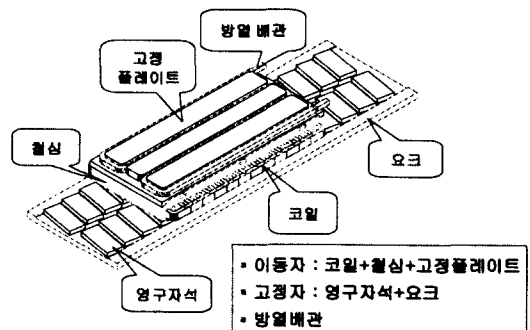


Fig. 1 Schematic drawing of the pilot model

2. 설계사양 및 시스템 구성

2.2 Pilot 모델 제작

본 개발에 적용하고자 하는 리니어모터는 서보제어성이 우수하고 질량대비 추력이 높은 리니어직류모터(LDM)로서 코일이동형(Moving coil)이다

모터는 코일이동형(Moving Coil type)으로 이동자(Primary part)와 고정자(Secondary part)로 구분할 수 있는데, 이동자는 철심 코어(Core)에 성형된 전기코일을 끼우고 열전도율이 높은 AL 고정플레이트로 고정하여 전기코일에서 발생하는 열을 냉각배관부에서 냉각될 수 있도록 하였으며 냉각은 압축공기에 의한 강제공냉식이다. 고정자는 요크에 자석밀도가 높은 희토류계 영구자석을 사용하였다. Pilot 모델에 적용된 요소부품의 기본 제원은 Table. 1과 같으며, 제작된 Pilot모델의 완성된 외형은 Fig. 2와 같다.

Table. 1 Specification of linear motor

구분		제원
1차측	상수	3상(相)
	극간격	30 mm
	슬롯간격	10 mm
	슬롯폭	5 mm
	코어 적층폭	110 mm(220장x0.5t)
	코어재질	50PN1650(전기강판)
	코일 직경	0.4 mm
	슬롯당 권선수	238
2차측	폭길이	110 mm
	영구자석	Nd-Fe-B N35
	잔류자속밀도	1.2 T
	공극	0.5 mm

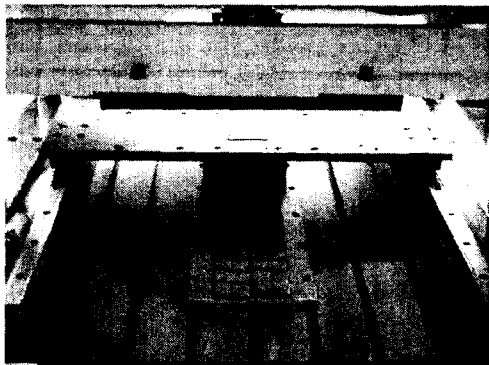


Fig. 2 Pilot model

2.3 성능평가 시스템

제작된 모터에 대해서 그 성능을 평가하고 설계에 대한 검증을 위해서는 전용의 성능평가 장치가 필요하다. 이번 개발과정에서 측정장비 제작과 데이터

획득 및 모니터링할 수 있는 성능평가 시스템을 독자적으로 구축하였다. 성능평가 장비의 측정항목으로는 정격추력, 이동자-고정자간 자기흡인력, 고정자의 자속밀도, 이동자 전기특성(LCR), 모터 인가 전류 및 전압, 이동자의 발열온도, 속도-가속도 패턴등을 얻을 수 있으며, 외부에 별도의 Laser Interferometer를 설치하면 위치결정정도와 반복위치결정정도를 얻을 수 있다. 제작된 설비의 형태는 Fig. 3과 같다.

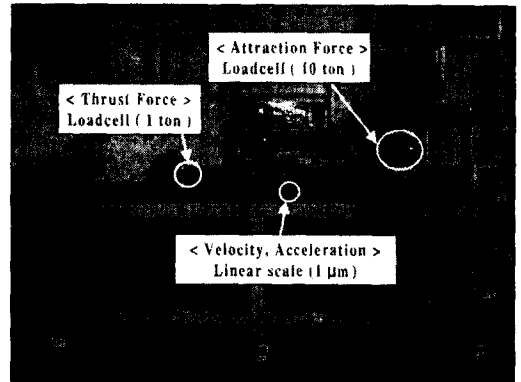


Fig. 3 Measuring system of linear motor

측정치에 대한 데이터 획득과 모니터링을 위해 Windows 98환경의 PC에서 National Instruments사의 프로그램 언어인 LabVIEW S/W를 사용하였으며 Data Acquisition은 Advantech사의 PCL-812PG Board를 사용하여 실시간 모니터링 시스템을 Fig. 8과 같이 구축하였다.

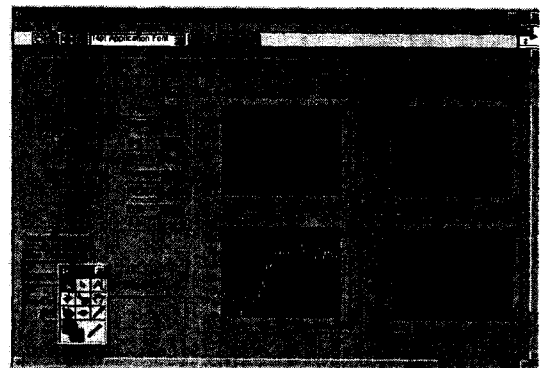


Fig. 4 Data acquisition monitoring system

3. 실험결과

3.1 추력

추력을 계산하는 일반식은 식(1)에서 코일 1개당 4.5 A 인가시 계산된 추력은 144.26 kgf가 된다.

$$F = ntBLI = K_t \cdot I \quad (1)$$

F:전자력의 크기 [N], n:전기자 코일의 유효도체부수, t:코일의 턴 수, B:자속밀도 [Wb/m, T], I : 코일 인가 전류 [A], L : 자계중에 위치한 도체의 유효길이 [m], K_t : 추력상수 [N/A]

실제 인가전류에 따른 추력 변화량의 측정값은 Fig 5와 같이 나타나는데, 4.5 A 인가시(상전류 기준 9 A) 측정값은 141.9 kgf으로 이론값 기준 1.64 %의 오차율을 가지는 양호한 결과를 얻었다. 추력상수는 이론치가 157.08 N/A이고 실험치는 154.51 N/A이다.

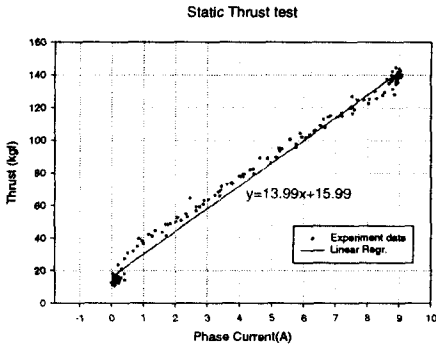


Fig. 5 Static thrust test

3.2 자기 흡인력

고정자에 배열된 영구자석으로 인하여 이동자를 당기는 흡인력이 발생하는데 이 힘은 모터 성능에 직접적으로 관련되지는 않지만 그 크기가 모터의 최대 추력의 3~5배 정도로 무시할 수 없는 큰 힘이 수직력으로 작용하게 된다. 결국 안내가이드(LM가이드)가 부담을 해야하므로 가이드 선정에 필요한 중요변수라고 할 수 있다. 영구자석의 흡인력은 거리(Air gap)의 2승에 반비례하는 경향을 가지는데, 실제 실험 결과도 Fig. 6과 같이 유사한 경향을 보이고 있다.

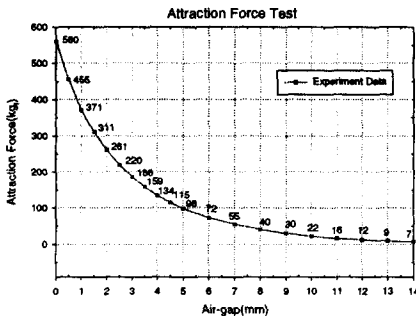


Fig. 6 Attraction force test

3.3 정강성

공작기계의 이송계에 요구되는 주요기능중 하나

로 정강성을 들수 있는데, 가공중인 위치를 외력의 변화에 대해서도 계속 유지할 수 있는 능력을 말한다. 실험은 수평방향으로 외력을 가하고 이때의 변위를 캡센서로 측정하였다. 측정결과는 1490 N/μm으로 비교적 큰 강성을 가짐을 알 수 있었다.(Fig. 7)

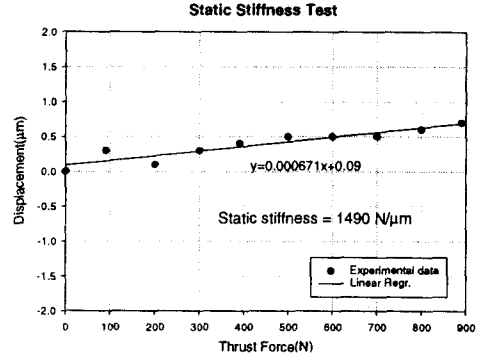


Fig. 7 Static stiffness test

3.4 속도리플

지령치에 대한 속도 추종성을 알아보기 위해 리니어스케일 신호로 피드백 받아 비교해 보았다. 실험 조건은 시운전 상태에서 비교적 빠른 위치결정이 되는 범위의 속도(1.2 m/s)와 가속도(1.2 G)의 값을 취하였는데 등속구간을 확대하여 지령치와 추종치를 비교하여 나타내면 Fig. 8과 같다.

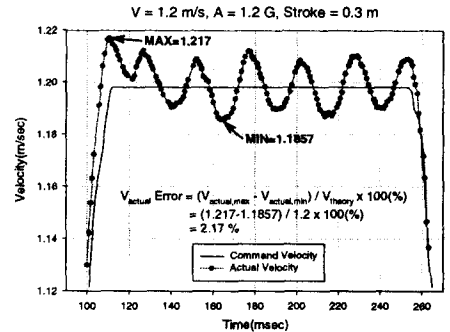


Fig. 8 Velocity ripple test

속도리플은 2.17 %로 나타났는데, 빠른 Tact time을 실현하기 위해 가속성 증가에 따른 Overshoot의 영향이 크게 나타난 것으로 생각되며 서보계의 Gain 조정으로 리플을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 온도특성

모터의 성능을 결정하는 정격추력은 연속운전에서도 온도상승이 생기지 않을 때의 추력이라고 정의할 수 있으므로 모터가 가진 능력의 충분한 발휘여부는 방열에 달려 있다고 할 수 있다.

이번 Pilot 모델에서는 공냉(AC)에 의한 냉각구조를 가지고 있는데, 실험에서는 냉각을 시키지 않고 정상상태에서 3 A의 인가 전류로 추력(약 600 N)을 발생시켜 이때의 온도 상승의 경향을 알아보았다. 실험은 Fig. 9와 같이 Thermocouple을 코어의 3곳에 부착하여 측정값을 얻었는데 결과는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 120 °C에서 정상상태를 유지하였다.

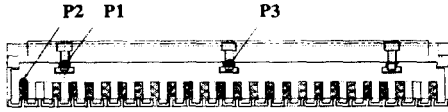


Fig. 9 Attach points of thermocouple

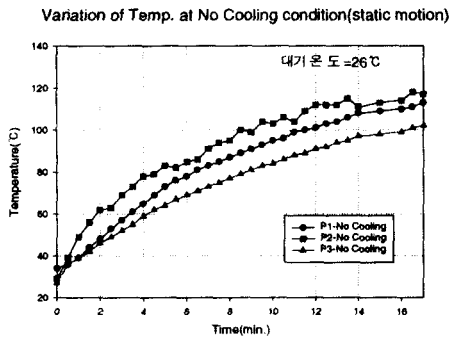


Fig. 10 Variation of temp. at no cooling(NC)

정상상태를 유지한 시점에서 압축공기를 주입하여 공냉(AC)을 시킨 결과, 코일에 부착된 P2점에서는 온도 강하가 급격히 이루어지지만 P1, P2 지점에서는 완만한 경향을 가지는데 이는 Thermocouple의 부착 상태에 문제가 있는 것으로 보이며 장시간이 흘러 정상상태에 이르면 세 점의 온도는 60~65 °C 범위에서 수렴하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 실험을 통한 주요사양에 대한 실험결과를 요약하여 나타내면 Table. 2와 같다.

Table. 2 Pilot model test results

항목	Data
연속추력 (N)	1391
자기흡인력 (N)	4459
정강성 (N/μm)	1490
추력상수 (N/A)	154.5
최대속도 (m/s)	1.2
최대가속도 (G)	1.2
이동자 무게 (kg)	7.3
고정자 무게 (kg)	17.5

(1) 철심형 리니어모터의 pilot 모델을 설계·제작하여 동작기계용 리니어모터를 만들기 위한 기본 기술의 습득 및 다양한 문제점 파악의 성과를 얻었다.

(2) 데이터의 모니터링 및 획득이 가능한 전용의 성능평가 장치의 구축으로 하나의 장치에서 리니어모터의 모든 성능평가가 가능하게 되었다.

(3) 추력이 커질수록 열해석의 중요성이 커지므로 이에 대한 정확한 예측이 가능한 프로그램 개발 및 냉각시스템 구축이 요구된다.

(4) 그 밖에 pilot 모델을 통해 얻은 주요인자들을 바탕으로 최적설계 및 FEM해석을 통한 효율적인 설계가 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점과제인 "고속 지능형 가공시스템의 개발(1999.12~2002.9)" 중 제5세부과제인 "고속고강성 이송시스템 기술개발"로 산업자원부의 연구사업비 지원에 의하여 수행하였으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Syed A. Nasar, "Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications", Prentice-Hall, Inc., 1987
2. Amitava Basak, "Permanent-Magnet DC Linear Motors", Clarendon Press, 1996. 김영희, "자기 및 자성 재료", 반도출판사, 1997.7
3. P. Van Den Bramembussche, "Accurate Tracking Control Of Linear Synchronous Motor Machine Tool Axes", Mechatronics Vol. 6, No. 5, pp. 507-521, 1996.
4. Fawwax T. Ulaby, "전자기학", 교보문고, 1998.2