특집 : 리니어모터의 응용기술

리니어모터 시스템의 개발동향과 적용사례

강 석 주
((주)져스텍 기술연구소 연구소장)

1. 서 론

전 산업 분야에 걸쳐서 고속, 고정도의 요구사항에 따라, 회전 모터와 볼스크류, 벨트를 이용한 직선구동방식보다 빠르고 정확하며, 효율이 높은 직접구동 방식의 리니어모터 및 컨트롤러의 개발이 요구되고 있다. 기존에 초고속 자기부상열차나 대형반송기 분야에서 많이 연구되어 왔던 리니어모터는 희토류계 영구자석재료의 저가격화, 컨트롤러 기술 및 리니어엔코더등 위치검출기의 발전 등에 힘입어 일반산업기계로의 적용범위가 넓어져 왔다.

90년대 부터의 반도체 기술의 발전과 반도체 및 PDP/LCD 장비의 고성능화의 요구사항에 따라 이러한 분야에서는 리니어모터의 적용이 표준으로 되어가고 있다.

자동화 분야에서 정밀 계측장비, 프레스 이송 장치 등의 초고속의 Pick&Place장비, 반도체장비분야에서 미크론급의 프로버(Prober), 핸들러(Handler)에 사용되는 정밀 스테이지, 이동거리 1m이상의 PDP/LCD 검사장비, 비전 검사장비, Optic분야에서의 나노급의 위치결정 시스템 등에서 기존의 회전형 서보모터로는 성능 구현이 불가능한 영역들에 직접구동 방식의 리니어모터 및 컨트롤러가 적용되어 가고 있다.

기존의 볼스크류시스템과 비교하여 리니어모터 시스템의 특징은 다음과 같다[1].

1.1 고속성

리니어모터의 최고속도는 모터의 전압, 전류사양 및 위치검출기에 의하여 결정되며 직접구동방식의 특성상 4m/sec이상이 가능하다. 볼스크류의 경우 최고속도는 대부분 리드스크류의 피치에 의하여 결정되며 대략 1m/sec정도이다.

1.2 고가속성

고속화를 위해서는 최고속도와 함께 고가속의 성능이 요구되며, 리니어모터의 이동자부를 경량으로 설계함으로써 이동자만으로는 최대추력에서 30g(1g=9.8m/sec^2)이상이 가능하다. 볼스크류의 경우 기계적인 마찰로 인하여 최대가속은 0.5~2g로 제한된다.

1.3 이동거리

볼스크류와 비교하여 리니어모터시스템은 이동거리 면에서 절대적으로 유리하다. 리니어모터시스템은 구동성능을 유지하면서도 이동거리의 제한이 없다. 볼스크류시스템의 경우는 이동거리가 길어질 경우 스크류의 처짐을 방지하기 위하여 스크류의 직경이 증가하고 구동모터의 토크가 증가하며 진동이 문제가 된다.

1.4 위치제어 성능

리니어모터시스템은 백래시(backlash)등이 없으므로 직접구동방식의 특성상 고정밀도의 위치제어가 가능하다. 반면 부하가 직접 모터에 인가되므로 이에 대한 충분한 고려가 필요하다. 예를 들어 리니어모터시스템이 Z축에 사용될 경우에 중력부하가 모터에 직접 인가되므로 카운터밸런스 등을 설치하여 이에 대응할 필요가 있고, 가공기 등에서 절삭부하가 인가될 경우 이에 대하여 충분한 강성(stiffness)를 유지하도록 모터 및 컨트롤러를 고려하여 시스템을 설계하여야 한다.

1.5 환경조건

리니어모터 시스템은 기본적으로 비접촉 운동이므로 소음, 마모 등의 면에서 유리하다. 반면 자석부 등 고정자가 노출되

어 있으므로 물, 기름, 칩 등의 흡착에 대한 충분한 배려가 필요하다.

본고에서는 리니어모터 시스템의 시장현황에 대하여 알아보고, 반도체 분야 및 공작기계 분야, 기타 분야에 있어서 리니어모터시스템이 적용될 때의 요구사항과 적용예에 대하여 알아본다. 그리고, 국내외의 대표적인 리니어모터 제조업체에 대하여 열거한다.

2. 리니어모터 시스템 개발동향과 적용예

산업기계 전반적으로 고속, 고정도화가 요구됨에 따라 리니어모터시스템이 대두되고 있다. 고속, 고정도화를 위하여 기존의 볼스크류, 벨트 등 기계메카니즘과 회전형 AC서보모터를 조합한 기존의 시스템을 급속히 대체해 나가고 있다. 반도체 및 FPD(Flat Panel Display)분야는 이러한 분야의 과반수 이상을 차지하고 있으며, 리니어모터 시스템으로의 교체가 급속히 진행되고 있다. 또한, 공작기계 또는 칩마운터(Chip Mounter)등에서도 구동시스템으로 리니어모터의 적용이 진행되어 가고 있다.

그 일 예로서, 표 1은 일본지역에서의 제품 분야에 따른 리니어모터 시스템의 생산금액 추이를 나타낸 것이다. 표 2는 2001년도의 용도별 리니어모터시스템의 생산실적을 나타낸다[2]. 일본의 전반적인 시장 악화에 따른 2001년도를 제외하고, 매년 40%이상의 성장을 보이고 있다.

다음으로 제품 분야별로 요구되는 리니어모터시스템의 특징에 대하여 서술하고, 응용예를 기술한다.

표 1. 리니어모터 시스템의 생산금액추이(일본시장)

(단위 : 백만엔)

제품구분		생산실적			생산예정	생산 예측	
		1998	1999	2000	2001	2002	2003
리니어모터유닛	생산금액	3,623	5,194	7,199	4,819	6,299	9,745
	전년비		143.4%	138.6%	66.9%	130.7%	154.7%
리니어액츄에이터	생산금액	1,380	2,610	3,300	2,350	3,490	4,280
	전년비		189.1%	126.4%	71.2%	148.5%	122.6%
리니어응용제품	생산금액	105	115	375	290	320	410
	전년비		109.5%	326.1%	77.3%	110.3%	128.1%
합 계	생산금액	5,108	7,919	10,874	7,459	10,109	14,435
	전년비		155.0%	137.3%	68.6%	135.5%	142.8%

표 2. 2001년도 용도별 리니어모터 시스템의 생산실적

(단위 : 수량-축수, 금액-백만엔)

수요분야	용 도	생산 수량		생산 금액	
			구성비		구성비
반도체, FPD제조장치	Stepper	2,900	16.4%	1,580	21.9%
	Bonder	750	4.3%	100	1.4%
	이송시스템	3,930	22.3%	1,969	27.2%
	조립,검사장비	745	4.2%	421	5.8%
	기타	120	0.7%	90	1.2%
	소계	8,455	47.9%	4,160	57.5%
미디어제조장치	이송, 절단, 기타	570	3.2%	245	3.4%
공작기계, 기타산업기계	칩마운터	440	2.5%	77	1.1%
	방전가공기	2,900	16.4%	1,160	16.0%
	공작기계	945	5.4%	245	3.4%
	기타산업기계	4,280	24.3%	1,315	18.2%
	소계	8,565	48.6%	2,797	38.7%
기 타	통신관련,기타	55	0.3%	27	0.4%
합 계		17,634	100.0%	7,299	100.0%

2.1 반도체/FPD분야

국내외에서 300mm웨이퍼의 상용화 및 1100mm x 1250mm의 5세대 LCD의 양산 등에 따라 이에 사용되는 위치결정시스템이 대형화되고, 서브미크론급의 위치정밀도가 요구됨에 따라 기존의 볼스크류시스템은 정밀도, 고속성면에서 이미 한계를 드러내고 있다. 볼스크류의 경우 이동거리가 길어짐에 따라 스크류리드의 처짐에 대한 고려가 어렵게 되고, 이 때문에 가격 대 성능비는 떨어지게 된다. 볼스크류의 백래시(backlash) 및 발열 문제로 위치정밀도에도 한계가 존재한다. 또한, 환경적인 면에서 반도체 및 FPD분야에서는 기본적으로 클린룸사양을 요구하며, 볼스크류의 마찰 및 벨트방식인 경우의 마모에 의한 Particle발산이 문제가 된다. 리니어모터 시스템은 직접 구동 방식(direct drive system)이므로 이러한 면에서 절대적으로 유리하다.

이와 같은 배경 하에 최근의 반도체 및 FPD장비의 많은 공정분야에서 구동부로서 리니어모터시스템이 채용되고 있으며, 대표적인 몇 가지의 장비에 대하여 그 특성을 열거한다.

현재에 반도체 장비중 가장 높은 위치 결정 정밀도를 요구하는 분야로서 축소 노광장치인 스테퍼(stepper)가 있다. 여기서는 반도체 패턴의 원판이 탑재되는 레티클 스캔 스테이지와 웨이퍼 스캔 스테이지로 구성되어 있으며, 레티클 스캔 스테이지와 웨이퍼 스캔 스테이지 간의 상대적인 위치 정밀도는 ±6nm(1nm=10^{-3} um)에 달한다. 두 스테이지에는 리니어모터 및 에어베어링이 사용되고 있다.

반도체 후공정(Back-End) 분야의 첫단계라고 할 수 있는 프로버(Prober)에도 리니어모터가 적용되고 있다. 기존의 8인치 웨이퍼 등에서는 평면 LPM(Linear Pulse Motor)가 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 대부분 공심형 LSM(Linear Synchronous Motor)가 주로 사용되고 있다. 프로버 장비는 고정밀성 및 고속성이 동시에 만족되어야 하며, 최근의 사양에 의하면, 반복정도 0.1um, 절대정도 4um이하(Chuck Top기준), 최고속도 500mm/sec 등을 만족하고 있다. 여기에 부가하여 리니어모터 스테이지에 프로빙을 위한 하중(300mm웨이퍼의 경우 150~200kg이상)에 대하여 고강성을 유지하여야 하며, 웨이퍼의 시험을 위하여 스테이지 상부의 Chuck에서 발생시키는 -55deg~200deg의 고온 및 저온의 환경 하에서도 정밀도를 유지하여야 한다.

고속성이 요구되는 분야의 하나로 와이어본더(wire bonder)가 있으며, 높은 생산성을 위하여 가속도는 12g이상, 정밀도는 약 4um이하 등이다. 리니어모터로는 VCM(Voice Coil Motor) 또는 공심형 LSM이 사용되고 있으며, 필요한 요구사양은 고가속에 대응하기 위한 XY스테이지의 고강성 구조, 기계의 발열에 의한 정밀도 저하를 방지하기 위한 냉각구조, 스테이지의 고정밀, 고속 제어를 위하여 300Hz이상의 위치제어 Bandwidth 등이다. 이를 위하여 상위 컨트롤러는 고속의 DSP(Digital Signal Processor)를 채용하고 있다.

이외에도 웨이퍼의 절단을 위한 Automatic Dicing Machine, 검사를 위한 Vision Inspection Machine, Test Handler, Laser Marking, Packaging/Assembly Machine 등의 이송기구로 리니어모터가 적용되고 있다.

FPD분야는 주공정이 Wafer의 경우와 거의 유사하기 때문에 리니어모터 시스템이 적용되고 있으며, Panel의 크기가 대형화 됨에 따라 리니어모터시스템으로의 전환이 급속히 진행되고 있다. 이것은 5세대 LCD의 경우 1200mm이상으로 기존의 볼스크류시스템으로는 대응이 불가하기 때문이다. 또한 6세대의 경우 2000mm이상으로 Panel의 크기가 예상됨에 따라 리니어모터 적용 시에도 이에 대한 충분한 고려가 필요하다. 1100x1250mm의 Panel을 검사하기 위해서 XY스테이지를 구성할 경우 기구적인 면에서 XY축의 진직도, 평편도, 직각도, 축의 처짐량를 유지하기 위한 설계/조립기술이 필요하고, gantry 구조에서 아래축의 경우 대형화에 따른 축간 동기제어가 필수적이다.

그림 1은 리니어모터적용 LCD Vision검사장비의 예이고, 적용 리니어모터의 사양은 표 3과 같다.

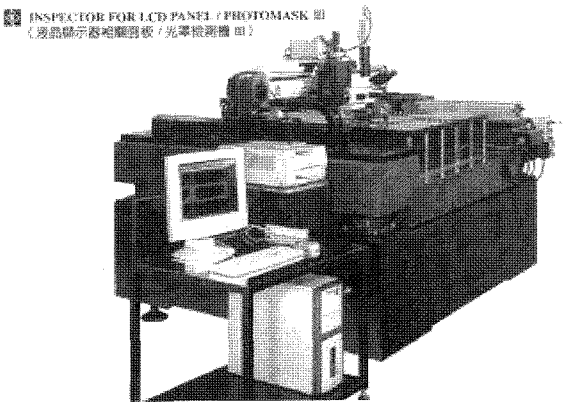


그림 1. 리니어모터 적용 LCD검사장비

표 3. 적용 리니어모터 시스템의 사양

항목	단위	Y축	X축
정격추력	N	353	208
최대추력	N	707	624
이동거리	mm	950	750
위치분해능	um	1	1
최대속도	mm/sec	250	250
위치정밀도	um	±6	±6
반복정밀도	um	±1	±1
부하질량	kg	120	50

2.2 공작기계 및 기타 산업기계 분야

반도체 분야와 마찬가지로 리니어모터 시스템이 갖는 직접 구동방식의 장점으로 하여 공작기계 분야에서도 리니어모터 시스템의 적용이 이루어져 왔다. 그러나, 공작기계 분야의 그 특성상 리니어모터 적용시에 해결해야될 다음과 같은 과제들을 안고 있으며, 현재까지는 시작기(Prototype)로 적용되어 왔고, 본격적인 사용은 점차 늘고 있다.

2.2.1 경량, 고강성 설계

공작기계의 특성상 부하질량이 수백kg에 이르고, 고가속이 요구되므로, 리니어모터의 경우에도 2000~20,000N 등의 대추력이 요구된다. 이를 위하여 소형이면서 큰 추력을 얻을 수 있는 리니어모터의 개발이 필요하다.

2.2.2 발열 문제

위와 같은 대추력을 유지하면서도 um급 또는 서브um급의 가공정도를 위해서는 모터에서 발생되는 발열에 의한 외란(disturbance)를 충분히 고려하여야 한다. 리니어모터는 직접구동방식이므로 가공물이 리니어모터에 근접해 있는 경우가 대부분이고, 따라서, 모터의 냉각을 위하여 1) 수냉을 통한 코일의 1차 냉각 2) 전도, 방사 등에 의한 열변형을 막기 위한 2차 냉각을 동시에 고려하고 있다.

2.2.3 자기흡인력

공작기계용 리니어모터의 경우 대추력을 발생시키기 위하여 철심형(core type) 리니어모터를 적용하고 있으며, 이 때 이동자와 고정자 사이에는 최대추력의 2배 이상의 자기흡인력이 작용하게 된다. 이 때문에 이동자를 지지하고 있는 프레임의 변형에 대한 충분한 고려가 필요하다.

2.2.4 환경적인 요소

회전형 모터에 있어서는 자기회로 구성이 밀폐되지만 리니어모터의 경우 개방구조로 되므로 이에 대한 고려가 필요하다. 가공시에 물, 기름, 먼지 등에 대한 보호구조가 필요하고, 작업시 칩 등이 고정자의 자석판 등에 흡착되는 경우를 방지하는 구조가 필요하다.

공작기계 분야에서는 SIEMENS와 FANUC이 선도하고 있으며 고속 NC가공기, 지그 연삭기, 고속 프로파일러, 리니어 프레스, 레이저 가공기 등에 리니어모터 시스템이 적용되고 있다. GE FANUC의 리니어모터 적용 CNC의 경우 DaimlerChrylser와 협력하여 자동차 엔진 실린더 헤드를 가공하였고, 그 결과 기존의 볼스크류시스템에 비하여 2배 정도의 생산성 향상을 구현하였다. 6대의 리니어모터 적용 CNC가 기존의 11대 CNC에서의 분량의 작업을 구현하였는 데, 이로 인하여 인력절감, 설치공간 절약, 공구 및 유지비용 절감 등을 줄일 수 있었다[3].

그림 2는 공작기계 및 일반 산업기계용 2000N급 리니어모터의 외관이다.

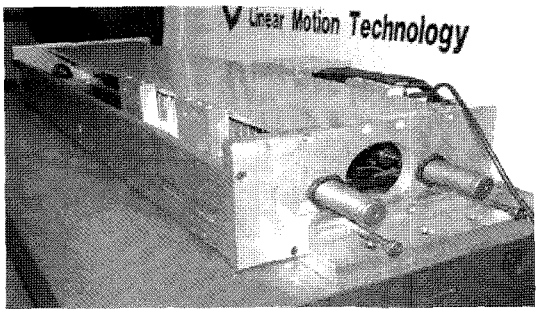


그림 2. 공작기계용 리니어모터(최대추력 2000N)

2.3 기타 분야

반도체 및 가공기 분야 외에도 자기부상 열차나 리니어모터 구동 수송 시스템 등의 수송, 반송 분야, 자기 디스크 장치 등의 정보기기, 의료기기, 엘리베이터 등에도 폭넓게 사용되고 있다. LG전자에서는 액츄에이터로서 냉장고에 크랭크샤프트와 회전모터에 의한 압축기를 직접구동방식의 리니어 압축기를 개발하여 기존 대비 20~30%의 전력효율절감을 달성하였다[4].

표 4. 대표적인 국내외 리니어모터 제조업체 목록

회사	Web site	주요 생산품
Aerotech, 미국	www.aerotechnic.com	공심형,철심형 LSM
Anorad, 미국	www.anorad.com	공심형, 철심형 LSM
Baldor, 미국	www.baldor.com	공심형, 철심형 LSM
Kollmorgen, 미국	www.kollmorgen.com	공심형, 철심형 LSM
Trilogy, 미국	www.trilogysystems.com	공심형, 철심형 LSM
Siemens, 독일	www.siemens.com	철심형 LSM
Fanuc, 일본	www.fanuc.com	철심형 LSM
Hitachi Metal, 일본	www.hitachi-metals.co.jp	DC Coreless, VCM
THK, 일본	www.thk.co.jp	LSM, LPM
Yaskawa, 일본	www.yaskawa.co.jp	공심형, 철심형 LSM
ETEL, 스위스	www.etel.ch	공심형, 철심형 LSM
HIWIN, 대만	www.hiwin.com.tw	LSM, LPM
넥스타테크놀로지	www.nexstar21.com	공심형 LSM
DCT Co.,Ltd, 한국	www.linearworld.com	LPM
미래산업, 한국	www.mirae.co.kr	공심형, 철심형 LSM
삼익LMS, 한국	www.samicklms.co.kr	공심형, 철심형 LSM
세우산전,한국	www.sewoomotor.com	철심형 LSM
져스텍, 한국	www.justek.com	공심형, 철심형 LSM

엘리베이터 분야에서도 OTIS사에서는 리니어모터를 이용한 엘리베이터 도어를 양산하고 있으며, 엘리베이터 각 회사들은 구동원으로서 Tubular형태의 LIM을 연구해 왔고, 선행연구차원에서 LSM형태를 이용한 Ropeless Elevator를 구현하기 위하여 노력하고 있다[5].

3. 리니어모터 제조업체

표 4에 국내외의 대표적인 리니어모터 제조업체를 열거하였다. 목록상에 액츄에이터를 생산하는 업체들은 제외하였다(표 4 참조).

4. 결 론

이제까지 리니어모터 시스템의 개발동향과 적용분야에 대하여 살펴보았다. 리니어모터 시스템은 기존의 수송분야 외에도 반도체/FPD분야 및 자동화 분야에서 급속히 회전형 서보 시장을 대체해나가고 있다. 이것은 리니어모터 자체의 기술 발전 외에도 영구자석의 저가격화, 리니어 엔코더 기술의 발전, 드라이버의 기술 발전에 힘입은 바도 크다. 앞으로 한층 더 리니어모터 시스템은 고성능화 및 가격 경쟁력의 확보로 적용되는 영역은 확대되리라고 예상된다.

참고문헌

[1] M. Karita, "Present Status of Linear Drives for Industry Applications in Japan," pp. 462~467, LDIA' 2001, 2001.

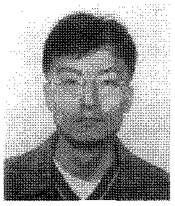
[2] '정밀위치결정용 리니어모터시스템의 개발, 시장동향 조사보고서,' 데이터기술연구소, 2002(일본).

[3] "GE Fanuc's Linear Motors Speed to the Head of the Class at DaimlerChrysler (CNC/Linear Motion)", GE FANUC Automation-Machining Solution, 2002.

[4] H.K. Lee, W.H. Jung and K.B. Park, "Development of the Linear Compressor for a Household Refrigerator", Proceedings of International Compressor Engineering Conference, 2000.

[5] Ohkubo, "The Efficiency of LSM for the Rope-less Elevator Considering Condition of LSM", pp. 196~199. LDIA' 2001. 2001.

〈저 자 소 개〉



강석주(姜碩柱)

1969년 2월 10일생. 1991년 서울대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 서울대 전기공학과 졸업(석사). 1998년 서울대 전기공학부 졸업(박사). 1995~2000년 LG-OTIS 빌딩시스템연구소 선임연구원. 2000~현재 (주)져스텍 기술연구소 연구소장.