

◆특집◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 I

리니어모터 구조 최적화를 통한 성능 향상 [1]

황영국*, 이춘만**, 은인웅***

Performance Improvement of a Linear Motors by Structural Optimization [1st paper]

Young Kug Hwang*, Choon Man Lee** and In-Ung Eun***

Key Words : Linear motor (리니어모터), Feed mechanism (이송기구), Structural optimization (구조 최적화), Moving table (이송테이블), Cooling plate (냉각판), Thermal stability (열적 안정성)

1. 서론

오늘날 제조 환경에서는 다품종 소량생산, 단납기화와 같은 빠른 시장 변화에 유연하게 대응할 수 있는 고효율의 생산 시스템 실현과 가격 경쟁력을 높이는 고부가가치 생산의 실현이 대단히 중요하다. Fig. 1은 제품의 종류와 생산량에 따른 생산형태의 차이를 나타낸다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 기존의 범용기와 같은 생산시스템에서는 생산량을 늘리려고 하면 제품의 종류가 한정되고 제품의 종류를 늘리려고 하면 생산량이 한정되어 버린다. 따라서 오늘날과 같이 빠르게 변화하는 고객의 요구에 대응하기 위해서는 제품의 종류나 생산량에 제한되지 않는 새로운 생산형태가 요구된다. 이에 공작기계 등 생산시스템 분야에서는 새로운 생산형태에 대응할 수 있는 공정집약에 의한 가공능률의 개선을 목표로 주축의 고속화, 이송계의 고속화, 다축화, 복합화와 같은 다양한 기술개발이 이루어지고

있다.

공작기계 등 생산시스템에서 직선운동을 창출하기위한 이송방식으로 현재까지는 주로 회전형 전동기의 축에 볼스크류(Ball screw), 타이밍 벨트(Timing belt) 등의 직선변환기구를 결합하여 위치와 속도를 제어하는 방식이 대부분이었다. 그러나 이러한 방식은 직선변환기구의 종속에 따른 마찰, 백래시(Backlash) 등으로 인해 고정밀, 고속, 고가감속 등의 실현에 그 한계가 있고, 최근 이송시스템에서 요구하는 기술적 수준을 만족시키지 못하는 실정이다. 이에 근래에는 직접적인 직선구동이 가능한 리니어 모터(Linear motor)를 이용하여 고속, 고정도, 고가감속을 얻기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

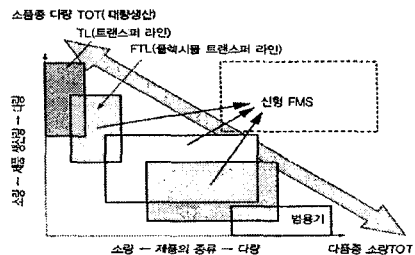


Fig. 1 Production method according to products type and quantity

* 창원대학교 기계설계공학과 대학원

** 창원대학교 기계설계공학과

*** 경기공업대학 금형설계과

Tel. 031-496-4764, Fax. 031-431-9549

Email iucun@kinst.ac.kr

공작기계 특히, 리니어모터 시스템 분야에 심을 두고 연구 활동을 하고 있다.

리니어모터는 기존의 직선운동기구와는 달리 별도의 직선변환기구를 사용하지 않고 전기에너지를 바로 직선운동에너지로 변환시켜주고, 비접촉 구동을 함으로써 마찰에 의한 손실이 리니어 가이드스에 한정되어 고정밀도의 구동을 실현할 수 있으며, 이동부를 경량화시킴으로써 높은 속도 및 가속도를 쉽게 실현할 수 있다. 또한 접촉부가 적기 때문에 진동이 적고 저소음을 실현할 수 있어 환경친화형 기계로 뒹과 동시에 가공면의 질에 있어서도 향상이 기대된다. 적은 마찰 부분은 빈도가 잦은 동작을 하더라도 높은 내구성과 신뢰성을 실현할 수 있다. 반면 리니어모터는 통상 기계의 내부에 직접 조립되기 때문에 이동자와 고정자 사이의 높은 흡인력의 영향 및 미세한 분말칩 등 이물질의 침입에 따른 모터의 성능 저하를 촉진시킬 우려가 있어 기계 구조에 대한 충분한 고려가 필요하다. 또한 회전모터에 비해서 낮은 효율과 그로 인해서 모터에서 발생하는 높은 열이 기계에 미치는 영향을 최소화 해야 한다. 이처럼 리니어모터 시스템은 직접구동에 의한 직선운동을 창출함으로써 많은 장점과 함께 보완해야 될 단점을 가지고 있다. Fig. 2에는 리니어모터 시스템의 동작기계에 적용 시 장단점을 종합하여 나타내고 있다.¹⁾

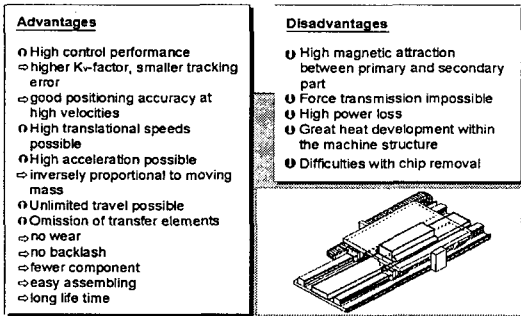


Fig. 2 Advantages and disadvantages of linear motors

리니어모터가 가지는 고속성, 고정밀성, 비접촉성, 직접구동, 정속성 등의 특성을 효과적으로 활용하기 위해서는, 리니어모터 자체의 성능향상과 함께 이동부의 경량화설계, 가동자와 고정자 사이에 작용하는 자기흡인력에 따른 굽힘 변형을 최소화하는 기술, 모터의 발열에 따른 효과적인 냉각기술, 공기간극과 영구자석에 이물질의 침입을 막는 방진 대책 등 기계 구조적 기술 또한 반드시 필요하다.

리니어모터가 아무리 우수한 특성을 가진다 하더라도 기계부의 열적, 구조적 특성이 나쁜면 리니어모터 시스템 전체의 제어성, 신뢰성 등을 보장할 수 없게 된다.

이에 본 논문에서는 리니어모터 시스템에 대한 전반적인 기술동향과 함께, 리니어모터 시스템 개발단계의 기계 구조적 관점에서 고려해야할 설계기술과 열특성 향상기술에 대해 소개하고자한다. 기술적 관점은 공작기계에의 적용에 초점을 두고 있다.

2. 리니어모터 기술동향

2.1 리니어모터의 분류

리니어모터는 직접적인 직선형 구동력을 얻기 위해 회전형 구조를 직선형으로 펼친 구조로서 회전에 대응하는 개념으로 크게 교류기와 직류기로 나눌 수 있으며, 구조 및 특성에 따라 분류하면 크게 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.²⁾

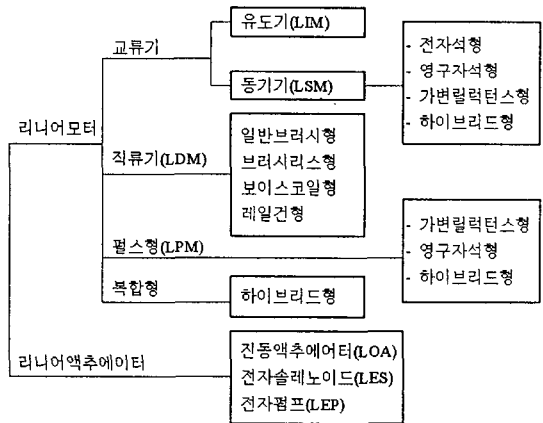


Fig. 3 Classification of linear motors

Table 1 A field of application with linear motors

명칭	영문명	약칭	응용예
리니어 유도모터	Linear Induction Motor	LIM	팔렛트 반송장치
리니어 동기모터	Linear Synchronous Motor	LSM	공작기계, 자기부상열차
리니어 펄스모터	Linear Pulse Motor	LPM	X-Y 플로터
리니어 직류모터	Linear DC Motor	LDM	반도체 장비

Table 1은 리니어모터의 분류에 대한 응용 예를 요약한 것이고, Table 2는 리니어모터의 분류에 따른 특성을 비교한 것이다.

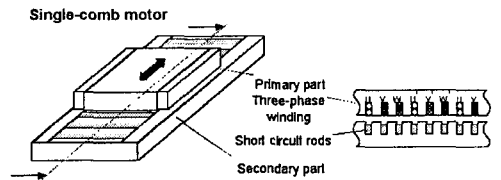
대변위, 대추력을 필요로 하는 수송용으로는 비교적 대형화의 실현이 용이한 리니어 유도 모터나 리니어 동기 모터가 적합하고, 서보시스템을 이용하여 속도 및 위치를 정밀하게 제어해야 하는 직교 좌표 로봇 등에는 리니어 펄스 모터가 효과적이며, 고응답성이나 위치결정기능이 필요한 OA 기기 관련 응용에는 리니어 직류 모터가 많이 활용되는 추세이다. 이중 공작기계용 이송시스템으로 사용되고 있는 리니어모터는 동기기(LSM)가 유도기(LIM)에 비해 효율이 높고 힘의 밀집도가 높아서 많이 사용되는 추세이다.^{2,9}

Table 2 Characteristic comparison of linear motors

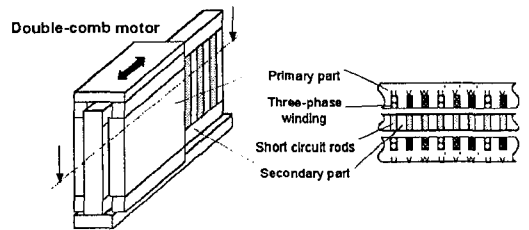
구분	LIM	LSM	LPM	LDM
연속직선운동	◎	◎	○	○
간헐직선운동	△	○	◎	◎
소변위 왕복운동	△	△	◎	◎
대변위 왕복운동	◎	◎	○	△
고속운전	◎	◎	△	◎
저속운전	○	◎	◎	◎
대추력화	◎	◎	○	○
위치결정정밀도	○	◎	◎	◎
고응답성	○	◎	○	◎
서보 성능	◎	◎	◎	◎
개루프 제어	○	○	◎	△
수직 운전	○	◎	◎	△
가동자구조의 간편성	◎	△	△	△
전원제어회로 간편성	◎	○	○	○
지지기구에의 부담	◎	△	△	○
가격	◎	△	△	△
에너지 저감	△	◎	○	◎

리니어모터는 계자부분의 배치방법에 따라 Fig. 4와 같이 편측식(Single-comb type)과 양측식(Double-comb type)으로 나누기도 한다. 편측식은 구성이 간단하여 갭길이의 유지가 쉽지만 이동방향에 대해서 수직인 방향으로 큰 자기 흡인력을 발생시키는 문제점을 갖고 있어 이 힘에 대한 지지기구

의 배려가 중요하다. 현재 일반적으로 채용되고 있는 지지기구의 방법으로는 롤러, 리니어 슬라이드 등을 사용하는 기계식과 공기식, 자기 부상방식 등이 있다.² 양측식은 고정부와 이동부가 완전한 대칭으로 자기 흡인력에 의한 문제가 발생하지 않는 반면 철심간의 갭길이를 작게 유지하고 양측의 갭길이를 정밀하게 조절해야할 필요가 있으므로 비교적 소형에 적합하다. 대형 산업기기에서는 구성의 자유로움이 우선적으로 고려되어 편측식이 널리 이용되고 있다.



(a) single-comb linear motor



(b) double-comb linear motor

Fig. 4 Single- and double-comb linear motors

2.2 기술동향

리니어모터는 모터 자체의 기술개발, 예를 들면 고속성, 고효율성, 힘의 고밀집성 등으로 끊임없는 기술 개발이 이루어지고 있으며, 더 나아가 주변 기기기술과의 융합에 의해서 이루어지는 위치제어 정밀도, 동적 특성 등 시스템 특성의 발달로 기술 발전이 이루어지고 있다.

리니어모터는 대표적인 메카트로닉스기술이자, 복합기술이며, 시스템기술이다. 리니어모터가 응용되는 환경은 다르다 할지라도, 모터(고정자, 이동자), 테이블, 베드, LM 가이드, 위치센서, 제어기, 냉각기 등 기본 요소는 변동이 없다. 따라서 이와 같은 기본을 Package로 통합하여 가공 및 조립 오차를 줄이고, 생산 단가와 부피를 줄이는 Linear

motor Integrated system이 최근의 대표적인 기술동향이며, 리니어모터 구동 초정밀 Stage가 한 예이다.

더 나아가 리니어모터 부품의 시장보다는 리니어모터시스템의 시장이 두 배가 크고, 더 빠르게 성장하고 있음이 보고되고 있다.¹² 소비자는 리니어모터의 부품을 구입하여, 자기 회사에서 조립하는 것을 원하지 않고, 디스플레이 회사 건, 반도체 회사 건, 자동화 설비 회사건, 리니어모터가 통합된 전체 시스템의 구매를 더 원하는 것이다. 즉, 리니어모터 자체의 성능도 중요하지만, 향후 시장은 통합된 시스템의 성능이 더 중요하게 평가할 것이다.

3. 리니어모터 시스템 설계기술

3.1 리니어모터 시스템에 요구되는 특성

공작기계용 리니어모터 시스템은 고속, 고가감속, 고정밀도를 충족시켜야한다. 이를 위해 리니어모터 시스템이 가져야할 특성을 요약해 보면 다음과 같다.

첫째, 고속성을 가져야 한다. 최근에는 실용속도로서 120m/min이상을 필요로 하고 있으며, 모터 자체는 충분한 능력을 갖추고 있다.

둘째, 공작기계에서는 짧은 스트로크범위에서 많은 작업이 이루어지는 경우가 있으므로 리니어모터 시스템을 적용할 경우 고속성과 함께 고가감속 능력을 중요하게 고려해야한다. 이를 위해서는 우선 모터 자체가 소형 경량이면서 큰 힘을 낼 수 있어야 한다. 즉 리니어모터 자체가 소형 경량이면서 대추력이어야 한다.

셋째, 최근의 가공환경에서는 공구 하나로 많은 가공을 자유롭게 함으로써 공구 교환 시간을 줄이려는 경향을 볼 수 있다. 이것을 실현하려면 단순히 위치결정 정밀도뿐만 아니라 고속에서 높은 윤곽 정밀도가 나와야 한다. 따라서 리니어모터 자체의 윤활성, 제어 성능, 피드백 검출기, 제어 신호의 S/N비 향상 등 종합적인 성능이 요구된다.

넷째, 리니어모터는 회전 모터를 평면으로 전개한 구성으로 자기회로가 노출되어 있다. 그렇기 때문에 철 등의 이물질이 모터 가까이 오면 빨려 들어가 버려 결국에는 모터 장해에 이를 가능성이 높다. 그러므로 이물질의 침입을 막는 방진(防塵)대책이 필수이다. 또한 통상 리니어모터는 기계 내부에 조립되고 강제 냉각되어서 사용된다. 때문에 결

로 발생이나 냉각재 등이 모터에 부착할 가능성이 있어 모터 자체의 높은 내유, 내수성이 요구된다.

다섯째, 리니어모터는 일반적으로 기계 내부에 조립되기 때문에 모터가 발열하면 그 열로 인한 기계 변형이 문제된다. 따라서 모터 자체의 낮은 발열 설계와 함께 적절한 냉각 방법에 대한 고려가 요구된다.

여섯째, 리니어모터에서 코일측 주재료인 전자강판은 자석에 이끌린다. 때문에 매우 큰 자기 흡인력이 자석측과 코일 사이에 작용한다. 이 힘은 코일과 자석의 거리로 결정되는 일정한 값이기는 하나 그 힘으로 인한 기계적 변형이나 가이드에 미치는 하중에 대한 배려가 필요하다.

일곱째, 리니어모터 구동 이송계의 속도가 빨라짐에 따라 이동부의 질량중심과 구동점과의 움직임에 의해 관성 크로스 토크 현상으로 기능점이 각운동 혹은 이와 관련된 진동인 Fig. 5와 같이 발생하는 경우가 많이 생기고 있다.³ 따라서 리니어모터 시스템의 설계에 있어서 저중심 설계에 대한 고려가 필요하다.

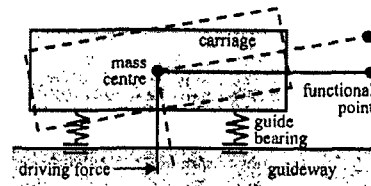


Fig. 5 Inertial cross talk

Machine table <ul style="list-style-type: none"> • high bending stiffness • reduction of the moving mass ⇒ light construction 	Machine construction <ul style="list-style-type: none"> • short kinematic chain • counterweight at the vertical axes • braking of the linear motors
Erame <ul style="list-style-type: none"> • rigid construction with the high natural frequency $f_{\text{res}} \gg f_{\text{a}}$ 	Linear guidance <ul style="list-style-type: none"> • acceptance of the high normal force • small friction • high permissible feed rate ⇒ ball / roller waggon
Thermal measures <ul style="list-style-type: none"> • fluid cooling required • isolation 	Control system <ul style="list-style-type: none"> • short sampling time < 0,5 μs • high current control bandwidth > 2 kHz • digital control • adaptive parameter acclimation
Measuring system <ul style="list-style-type: none"> • high resolving positioner (0,1 μm) • bending-resistant mounting 	

Fig. 6 Demands of the machine concepts with the application of linear motors

Fig. 6은 상기에서 언급한 리니어모터 시스템의 공작기계에 적용 시 요구되는 내용을 종합하여 보여주고 있다.¹

3.2 이송테이블 구조설계기술

리니어모터 시스템의 설계에서 기계 구조적 관점에서 상기에 언급한 경량이면서 저중심 설계를 이루기 위해서는 이동부에 해당하는 냉각장치와 이송테이블 구조설계가 중요하다.

리니어모터 시스템에서 이송테이블은 고정자와 이동자 사이에서 발생하는 큰 자기 흡인력을 지지할 수 있는 강성을 가지면서 가감속 특성의 향상을 위해 경량일수록 유리하다. 또한 관성 크로스 토크 현상의 억제를 위해 질량중심과 구동점 사이의 거리가 가까운 저중심 설계에 유리한 구조를 가져야 한다. 이에 대한 고려를 위해 이송테이블 내에 냉각장치가 결합될 수 있는 홈을 형성하고, 홈에 냉각장치가 결합될 수 있는 구조로 이송테이블을 설계하여 이동부의 경량화를 시도하고 냉각장치를 포함한 모터 높이를 줄여 저중심 설계를 쉽게 하고자 제안한 구조를⁴ 소개한다.

Fig. 7은 종래 대부분의 편축식 형태의 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.

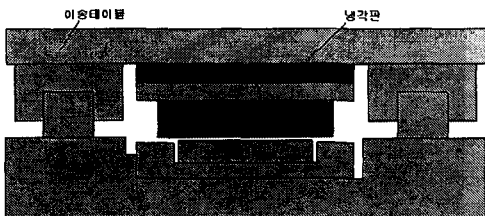


Fig. 7 Schematic drawing of conventional linear motor system

Fig. 8은 새롭게 제안한 리니어모터의 구성도를 나타낸 것으로 LM 가이드에 의한 안내를 받고 이송테이블 내에 냉각장치가 결합될 수 있는 홈을 형

성하고, 홈에 냉각장치를 결합하여 리니어모터 시스템을 구성함으로써 모터 자체의 경량화와 저중심 설계를 쉽게 하고자 하였다. 또한 LM 가이드에 의한 지지점과 자기흡인력의 작용점이 가까우므로 변형량을 줄일 수 있어 가동자와 고정자 사이의 공극을 일정하게 유지하기 위한 지지특성이 향상될 것으로 기대된다. 반면 제안된 구조를 위해서는 엄밀한 가공과 함께 리니어모터에서의 주열원과 이송테이블과의 근접에 따른 더욱 엄밀한 리니어모터 시스템의 열특성 고려가 요구된다. 리니어모터 시스템의 열특성에 대해서는 다음절에서 소개한다.

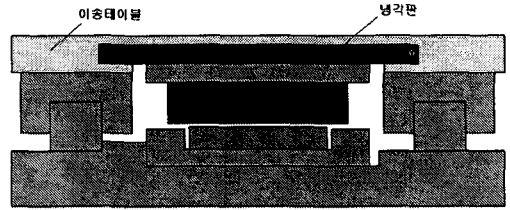


Fig. 8 Schematic drawing of proposed linear motor system

새롭게 제안된 이송테이블의 구조에서 강성을 향상시키고, 경량화 시키기 위해 구조해석과 반응표면법을 이용하여 형상최적화를 수행하였다.⁵

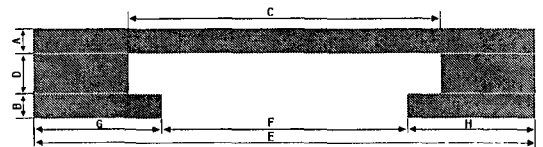


Fig. 9 Geometric parameters

Table 3 Variable range of the design parameters

Design variable	Lower bound	Initial value	Upper bound
A[mm]	3	5	8
B[mm]	3	5	8
C[mm]	170	171.5	200
Design constant	Initial value		
D[mm]	10		
E[mm]	265.5		
F[mm]	135.5		
G, H[mm]	65		

Fig. 9는 이송테이블의 형상변수를 나타내고 있

으며, Table 3은 각 해석 단계별 설계변수와 그에 따른 초기값 및 범위를 나타내었다. 목적함수는 질량과 변위로 하였다. 형상최적화를 수행한 결과 최적해는 A : 6.2mm, B : 1.4mm, C : 160.5mm로 구해졌으며, 초기모델에 비해 질량 3.6%, 변위 12.4%가 향상되는 것으로 나타났으며 이 결과는 상세설계와 제작과정에 반영하였다.

Table 4 Methods for the optimization of the thermal behavior of linear motors

열특성 향상 원칙	<ul style="list-style-type: none"> - Primary part로부터 이송테이블로 전도에 의한 열전달의 최소화 - 이송테이블의 온도편차 최소화 - 모터의 부하변동에 따른 이송테이블의 온도변화 최소화 - Secondary part의 구조의 최적화 	
	전기적 방법	리니어모터의 고 효율화
열특성 향상 방법	기계적 방법	단열
		냉각기와 모터의 구조 최적화
		내장형 냉각기
		U형 냉각기
열대칭 냉각기		
이중 냉각기		
냉각조건 제어	유량	
	온도	
	방향	

3.3 냉각판 구조설계기술

리니어모터 열특성의 향상 또는 최적화의 목적은 공작기계 이송장치의 위치제어 오차에 직접 영향을 주는 이송테이블로의 열전달을 최소화하고, 냉각판에 흐르는 냉각수의 온도상승에 의하여 야기되는 테이블의 온도 불균일을 낮추며 리니어모터에 작용하는 부하변화에 대한 테이블의 온도변동을 적게 하여 이송시스템을 열적으로 안정화시키는 것이다.

리니어모터 시스템에서 이 목적을 위해 적용되는 방법중 기계적 방법으로는 단열에 의한 방법, 냉각판이나 리니어모터의 구조를 변경시키는 방법 그리고 냉각판에 제어기를 부착하여 냉각수의 수온, 유량 그리고 흐름방향을 제어하는 방법 등이 있다. 이중 설계단계에서 고려할 수 있는 방법으로는 단열에 의한 방법, 냉각판이나 리니어모터의 구조를 변경시키는 방법이 있고, 냉각조건 제어는 개발된 리니어모터 시스템의 적용단계에서 고려할 수 있는 사항이다.

Table 4는 지금까지 연구되고 제시되어진 리니

어모터 시스템의 열특성을 향상시키기 위한 방법들을 나타내고 있다.^{6,8}

본 논문에서는 열특성을 향상시키기 위해 적용되는 기계적 방법들 중 새로운 냉각기의 구조설계에 대한 예를 소개한다.

Fig. 10은 새로운 냉각기의 구조설계에 대한 예로서 냉각배관이 필요 없는 냉각판을 형성하고 열교환이 이루어지는 열교환실을 저면이 개방되어 있는 다면체의 형태로 다수 구성함으로써 판의 마찰에 의한 에너지 손실을 줄이고, 열원인 코어에 직접 냉매를 분사함으로써 빠른 열교환이 이루어지고, 냉각판 및 가동자의 온도구배를 최소화 시키기 위해 고려한 구조이다.⁴

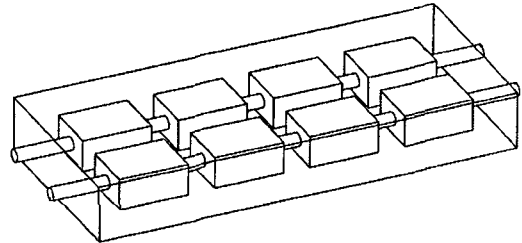


Fig. 10 Schematic drawing of cooling plate

제안된 구조에 대한 냉각판의 열배출 특성 및 효과를 알아보기 위해 유한체적법을 이용하여 열·유동해석을 수행하였다.⁸ 열·유동해석을 위해 ANSYS-CFX를 이용하였으며 Fig. 11과 같이 4개의 도메인으로 구성하여 총 164,792개의 격자로 모델링하였다.

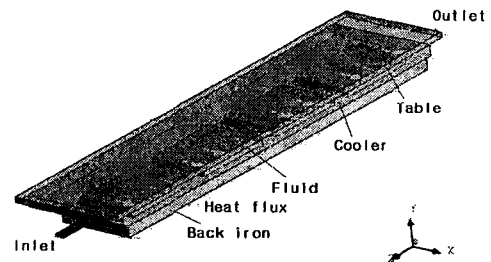


Fig. 11 Geometry and boundary conditions

경계조건으로는 냉각판 입구에 25℃, 6bar의 공기압을 주었고, 출구에는 대기압 조건을 주었다. 열

원으로는 백 아이언의 밀판에 100W의 열손실을 주었으며 유동해석을 위한 난류모델은 표준 k-ε 모델을 사용하였다.

Fig. 12는 열원으로부터의 열전달에 의한 테이블의 온도분포를 열·유동해석을 통해 구한 결과를 보여주고 있다. 해석결과 일차적으로 고려한 냉각 조건에서 냉각판의 열배출 특성은 테이블에서 공기의 공급방향(z방향)으로는 약 1K의 온도 구배가 발생하고, x방향 온도구배는 없는 것으로 나타났다. 이를 통해 개발된 구조에서는 시간의 흐름에 따라 냉각판에 흐르는 냉매의 온도 상승으로 생기는 이송테이블의 온도 편차는 없는 것으로 나타났다.

제안된 냉각판 구조의 경우 열대칭 냉각판과 동일하게 냉매의 온도 상승에 의한 이송테이블의 온도 불균일 현상을 최소화하면서도 제작이 용이하고, 판의 마찰에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점이 기대된다. 하지만 냉매로 청수 등을 사용할 경우 백아이언에 직접 냉매를 분사함으로써 인한 실링문제와 부적절하게 높은 압력으로 냉매를 공급할 경우 열교환실 내의 압력발생 문제에 대한 고찰이 필요할 것이다.

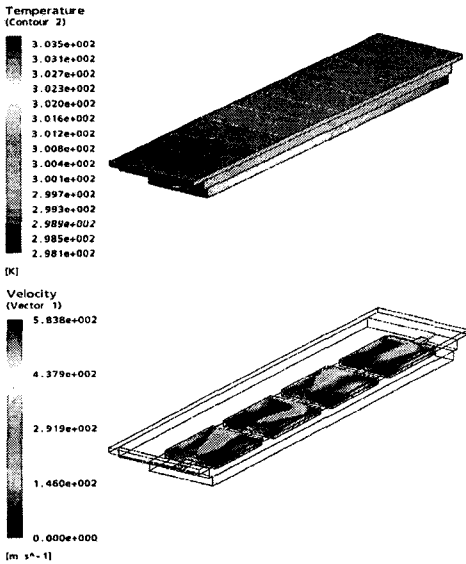


Fig. 12 Temperature and velocity distributions in the linear motor system

Fig. 13은 새롭게 제안한 이송테이블의 형상과 냉각판의 구조를 적용하여 제작된 리니어모터 시스템

을 보여주고 있다.

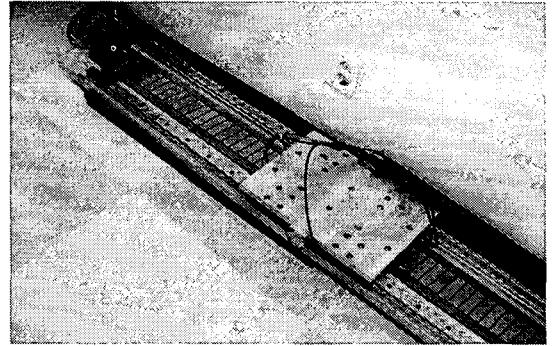


Fig. 13 Product of linear motor system

4. 결론

오늘날 리니어모터 시스템은 리니어모터가 가지는 고속성, 고정밀성, 비접촉성, 정숙성 등의 장점으로 인해 반도체 장비, 수송 기기, 자동화 기기, 의료 기기, 공작기계 등 직선 운동 기구가 필요한 대부분의 산업 분야에서 사용되고 있으며 앞으로 그 적용범위가 점점 넓어질 것으로 기대된다.

본 논문에서는 리니어모터 시스템에 대한 전반적인 기술동향과 함께 공작기계의 적용에 초점을 맞추어 리니어모터 시스템의 구조 최적화에 대해 살펴보았다. 기계 구조적 관점에서 리니어모터 시스템 설계 시 고려해야 할 사항은 크게 열특성 분야, 고가속 실현을 위한 경량화 기술 분야, 저중심 설계 기술 분야 등으로 나눌 수 있었으며 본문에서 저자의 경험을 중심으로 이에 대해 간략하게 살펴보았다. 오늘날에는 본 논문에서 다룬 기술 외에도 리니어모터의 구조 최적화를 위해 벌집 구조를 적용한 설계 기술, 복합재료 등 신소재를 적용한 설계 기술 등 다양한 기술적 시도와 적용이 이루어지고 있다.

향후 리니어모터 시스템은 가정자동화(Home automation), 사무자동화(Office automation), 공장자동화(Factory automation) 등 모든 산업분야 전반에서 직선형 구동장치의 핵심 구동원으로 사용되어질 것으로 기대된다. 따라서 그 기술적 중요성과 파급효과가 대단히 크고 관련 기술에 대한 기술적 향상이 절실히 요구되어지고 있다. 이에 리니어모터 자체의 성능을 향상시키기 위한 기술뿐만 아니라 본 논문에서 언급한 기계 구조적 관점에서의 최적화를

통한 성능 향상 기술에 대해서도 더욱 활발한 연구가 필요할 것이다.

후 기

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

참고문헌

1. Eun, I. U., "Positioning Technology by Linear Motor," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 17, No. 12, pp. 20-25, 2000.
2. Jang, S. M., "Linear Motor Technology," KIEE, Vol. 48, No. 2, pp. 4-8, 1999.
3. Gim, T. W., "Development Direction of Machine Tool Mechanical Technology," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 14-19, 2007.
4. Hwang, Y. K., Eun, I. U. and Lee, C. M., "A Study on the Structural Design of Linear Motor System," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference, pp. 1059-1063, 2005.
5. Hwang, Y. K., Eun, I. U. and Lee, C. M., "Shape Optimal Design of Moving Table with Linear Motors using Response Surface Method," Proceeding of the KSME Spring Annual Meeting, p. 113, 2006.
6. Eun, I. U., "Optimization of the Thermal Behavior of Linear Motors with High Speed and Force [1st paper]," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 184-191, 2002.
7. Eun, I. U., "Optimization of the Thermal Behavior of Linear Motors with High Speed and Force [2nd paper]," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 19, No. 7, pp. 163-170, 2002.
8. Hwang, Y. K., Eun, I. U. and Lee, C. M., "A Study on the Cooling Parameter Decision of Linear Motor System by Finite Volume Method," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 449-450, 2006.
9. Eun, I. U., "Comparison between Asynchronous and Synchronous Linear Motors as to Thermal Behavior," International Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 61-68, 2001.
10. Jung, J. H., Shin, S. H. and Lee, S. R., "Optimization of the Design Variables of Linear Motor by FEM," Trans. of KSME, A, Vol. 26, No. 7, pp. 1232-1240, 2002.
11. Nasar, S. A., "Linear Electric Motors : Theory, Design, and Practical Applications," Prentice Hall, pp. 31-150, 1987.
12. <http://www.controldesign.com/industrynews/2006/061.html>