

고속정밀이송용 리니어모터 개발을 위한 열적 안정성 향상에 관한 기초연구 asic tud on Improvement of the Thermal ta ilit for Development of igh peed, ccurac inear Motors

*황영국¹, 정재원¹, 은인웅², 이춘만³, 최종경⁴

*Y. K. Hwang¹, J. W. Chung¹, I. U. Eun(iueun@kinst.ac.kr)², C. M. Lee³, J. K. Choi⁴

¹ 창원대학교 기계설계공학과 대학원, ²경기공업대 금형설계과, ³창원대학교 기계설계공학과, ⁴창원대학교 전자공학과

Key words : Linear motor, Thermal stability, Cooling condition, Feed mechanism

1. 서론

최근 전 산업 분야에 걸쳐서 고정밀, 고속, 고가감속 및 고추력을 지닌 이송장치의 필요성이 증대되고 있다. 기존의 이송장치는 주로 회전형 전동기의 축에 볼스크류(Ball screw), 타이밍 벨트(Timing belt) 등의 직선변환기구를 결합하여 이용한 것이 대부분이었다. 이러한 이송장치는 직선변환기구의 중속에 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, 고정밀, 고가감속을 얻기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.⁽¹⁾

리니어모터를 사용할 경우 전기에너지를 바로 직선운동에너지로 변환시켜주고, 비접촉 구동을 함으로써 마찰에 의한 손실이 리니어 가이드에 한정되어 고정밀도의 구동을 실현할 수 있으며, 이동부를 경량화시킴으로써 높은 속도 및 가속도를 쉽게 실현할 수 있다. 그러나 리니어 모터는 효율이 낮고 가동중 발생하는 열손실로 인해 모터와 주변기계가 가열되는 단점이 있다. 그러므로 리니어모터 시스템을 고속, 고정밀 공작기계 등에 적용하기 위해서는 모터 자체의 저 발열 설계와 함께 효과적인 냉각방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.⁽²⁾

본 연구에서는 고속, 정밀이송용 리니어모터 시스템의 개발을 위해 리니어모터 시스템의 운전조건과 냉각조건에 따른 열특성을 실험적 방법으로 분석하여 리니어모터 시스템의 열적 안정성을 확보할 수 있는 냉각조건 선정과 구조설계에 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 열특성 실험

리니어모터를 공작기계 등의 이송장치로 적용할 경우 필요한 열대책은 모터를 구동시킬 때의 전기적인 에너지 손실과 LM 가이드상의 마찰열을 고려해야 한다. 이를 위해 본 실험에서는 리니어모터의 운전 조건을 달리하면서 이송테이블상의 위치에 따른 온도 분포와 시간에 따른 열 발생 경향을 냉각조건에 따라 분석하였다.

2.1 실험장치 및 방법

Fig. 1은 리니어모터 시스템의 온도측정을 위한 실험 장치를 보여주고 있다. 실험 장치는 크게 리니어모터 시스템, 냉각 장치와 온도측정 장치로 구성되어 있으며, 실험에 사용된 냉각 장치의 사양은 Table 1과 같다. 리니어모터 시스템은 Primary part와 테이블 사이에 수냉식 Cooler가 설치되어 모터 내부에서 발생한 열을 외부로 방출시키는 구조로 되어있다. 냉각장치는 Cooler에 공급되는 온도를 5~25℃범위로 조절할 수 있으며, 냉각장치에 재유입되는 냉각수의 온도를 측정하여 셋팅된 온도를(±1.5℃) 벗어날 경우 냉각기나 히터가 작동하여 셋팅된 온도를 유지하도록 하는 디지털온도제어식이며, 유량밸브를 이용하여 Cooler에 공급되는 유량의 조절이 가능한 구조이다.

리니어모터의 열특성은 궁극적으로 이송테이블의 열변위로 평가될 수 있고, 이송테이블의 열변위는 열원인 리니어모터로부터 테이블로의 열전달에 의해 야기되는 온도상승에 기인하므로⁽²⁾ 본 연구에서는 이송테이블의 상면에 5개의 온도 센서를 부착하여 이송테이블 상의 위치에 따른 온도분포를 측정하였다. Fig. 2는 이송테이블상의 측정위치를 나타내고 있다. T₁, T₂는 Cooler로 유출입 되는 냉각수의 온도를 측정하기 위한 것이며, T₃, T₆,



Fig. 1 Photograph of experimental set-up

Table 1 Technical data of cooling system

pecification	Value
Cooling capability [kcal/h]	3,700 ~ 4,200
Maximum flow rate [l/min]	10 ~ 20
Temperature range [°C]	5 ~ 25

T₇은 Cooler가 부착되어 있는 상면이송테이블의 이송방향(y축) 온도분포를 측정하기 위한 것이다. T₄, T₅는 LM 블록이 부착되어 있는 위치로 T₃와 y축 상의 동일한 위치이며, 이송테이블의 x축 방향 온도분포를 측정하기 위한 것이다.

Table 2는 본 연구에서 고려한 실험조건을 나타내고 있다.

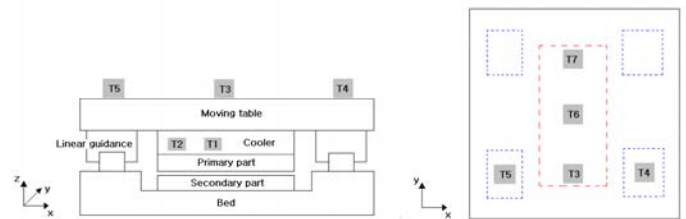


Fig. 2 Measuring points

Table 2 Operating conditions of linear motor and cooling system

Experimental order	Linear motor		Cooling system	
	Acceleration [G]	Feed rate [m/min]	Flow rate [l/min]	Output temp. [°C]
1	1	60	5	10
2	1	60	2	10
3	0.5	60	5	10
4	0.5	60	2	10

2.2 실험결과

Fig. 3은 실험조건이 1인 경우의 온도측정 결과를 나타내고 있다. 측정결과 이송테이블의 중앙과 선단의 x방향 온도편차는 약 3℃로 좌우 대칭으로 나타났다. y방향 온도편차는 T₃과 T₆부위는 발생하지 않았으며, T₇부위는 약 0.8℃높게 나타났다.

Fig. 4는 Fig. 3의 경우와 운전조건은 같고 냉각조건만 유량을 2 l/min으로 줄인 경우의 온도측정 결과이다. 측정결과 x방향 온도편차

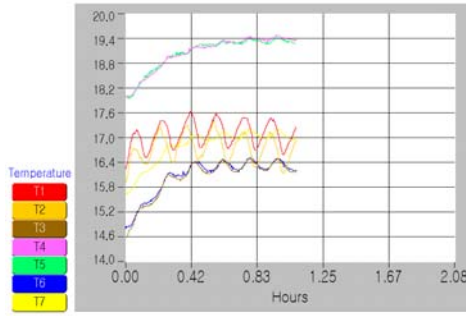


Fig. 3 Temperature rise on the linear motor system for experimental condition 1

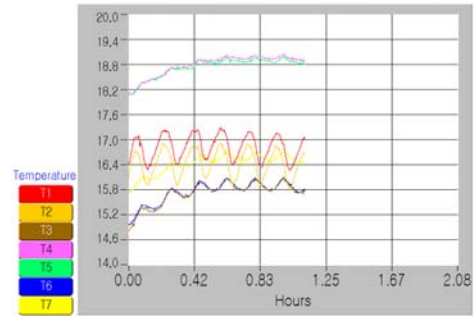


Fig. 6 Temperature rise on the linear motor system for experimental condition 3

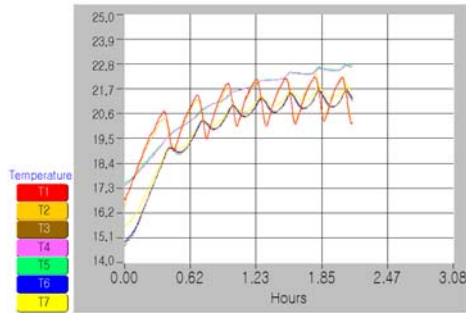


Fig. 4 Temperature rise on the linear motor system for experimental condition 2

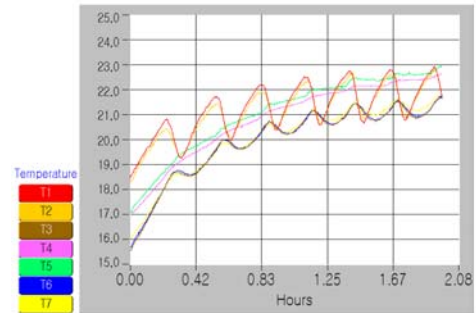


Fig. 7 Temperature rise on the linear motor system for experimental condition 4

는 약 1°C로 나타났으며, y방향 온도 편차는 T₃와 T₆부위는 발생하지 않고 T₇부위만 약 0.1°C 높게 나타났다. 이상의 결과에서 동일한 운전조건인 경우 냉각 유량이 5 l/min인 경우가 2 l/min인 경우에 비해 이송테이블 전체에 걸쳐 온도 상승은 낮게 나타났고, 온도분포의 불균일성은 더 크게 나타났다. 이는 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 위치에 따른 리니어모터로부터 이송테이블로의 열전달 기구의²⁾ 차이 때문으로 판단된다. 주열원인 Primary part로부터 발생한 열은 Cooler에 의해 밖으로 유출되고 나머지 열은 전도와 대류, 복사에 의해서 테이블로 유입되는데, T₃와 T₄부위에서는 Primary part에서 발생한 열이 대류와 복사에 의해서 직접 전달되어 T₃부위에 비해 Cooler의 영향을 덜 받기 때문이다. 따라서 냉각수 유량이 5 l/min인 경우 Primary part에서 발생한 열을 충분히 유출하여 전도에 의해 이송테이블로 유입되는 열을 2 l/min인 경우보다 충분히 억제했기 때문에 x방향 온도 편차가 더 크게 나타나는 것으로 판단된다. 실험조건 1, 2 경우의 y방향 온도편차 결과는 Cooler의 구조와 냉각조건에 의한 복합적인 영향으로 판단된다. Cooler의 구조적 특성상 수관에 흐르는 냉각수의 온도는 시간이 지날수록 상승하게 되고 이로 인하여 테이블에는 온도편차가 생기게 된다. 이때 냉각수 유량이 5 l/min인 경우가 2 l/min인 경우보다 냉각수의 유출입 온도차가 크게 발생하고 이로 인해 y방향으로 더 큰 온도편차를 유발하게 되는 것으로 사료된다.

Fig. 6, 7은 각각 실험조건이 3, 4인 경우의 온도측정 결과를 나타내고 있다. 측정결과 실험조건 1, 2인 경우와 이송테이블에서의 온도분포 경향은 동일하게 나타났다. 온도상승 결과는 냉각조건이 5 l/min으로 동일하고 운전조건이 다른 Fig. 3, 6의 경우는

리니어모터에 부하가 적게 걸리는 Fig. 6의 경우가 이송테이블 전체에 걸쳐서 온도상승이 약 0.6°C 적게 나타났다. 그러나 냉각조건이 2 l/min인 Fig. 4, 7의 경우는 이송테이블 전체에 걸쳐 운전조건에 따른 온도 상승량의 차이가 발생하지 않았다. 이는 냉각수 유량이 2 l/min인 경우 본 연구에서 고려한 모든 운전조건의 범위에서 발생하는 리니어모터의 발열량을 충분히 냉각시킬 수 있음을 의미하고, 5 l/min의 경우는 이송테이블을 과냉각 시키는 것으로 판단된다.

3. 결론

리니어모터 구동 시 발생하는 열은 이송계의 위치정밀도 및 성능 저하에 영향을 미치므로 리니어모터를 이용한 고속, 고정밀 이송계의 개발을 위해서는 리니어모터의 열특성에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 리니어모터 시스템의 운전조건 및 냉각조건에 따른 열특성을 실험적 방법으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이송테이블의 x방향 온도편차가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 Primary part에서 발생한 열이 대류와 복사에 의해 전달되는 부분과 Cooler를 통해 전도에 의해 전달되는 부분의 차이에 의한 영향으로 판단된다. 따라서 Primary part에서 대류와 복사에 의해 이송테이블로 전달되는 열에 대한 효과적인 차단대책이 필요하다.
2. 이송테이블의 y방향 온도편차는 Cooler의 구조뿐만 아니라 냉각조건에 의해서도 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 적절한 냉각조건을 선정할 경우 Cooler의 구조에 의한 냉각수의 온도상승으로 인한 이송테이블의 온도편차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 향후 이에 대한 추가적인 검증 실험이 필요할 것으로 판단된다.

후기

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

참고문헌

1. 황영국, 은인용, 이준만, "유한체적법을 이용한 리니어모터 시스템의 냉각조건 선정에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 449-450, 2006
2. 은인용, "고속·대추력 리니어모터의 열특성 최적화[1]," 한국정밀공학회지, 6, 184-191, 2002.

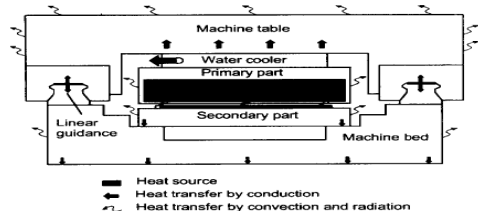


Fig. 5 Heat transfer mechanism in linear motor system