

실험계획법을 이용한 초정밀 선형모터의 최적설계

*고강호¹, 이우영²

¹ 한국기술교육대학교 기계공학과, ² 한국기술교육대학교 기계공학과

Optimal Design of Super-Precision Linear Motors by using Design of Experiments

*K. H. Ko¹, W. Y. Lee²

Korea University of Technology and Education

¹ Mechanical Engineering, ² School of Mechanical Engineering.

Key words: Linear motor (선형모터), FVM(유한체적법), Design of Experiments(실험계획법)

1. 서론

최근 반도체 산업과 정보 저장 장치 분야 등의 급속한 산업 발전에 따라 고속/고정밀의 이송 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 회전-직선 변환 기구가 필요한 볼 스크류(ball screw) 등이 사용된 직선 구동기는 기계적인 마찰과 기구 간의 간섭으로 인하여 이송 속도와 정밀도에 그 한계를 나타내고 있다. 반면 선형 모터(linear motor)는 이송체(mover)의 구동에 따른 직접적인 직선 구동을 할 수 있고 기계적인 마찰과 기구 간의 간섭이 적고 고속/고정밀 구동이 가능한 직선 구동기로서 그 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 선형 모터의 구동 성능을 향상시키기 위해서는 이송체에 대한 진동과 열에 대한 최적 설계는 필수적으로 이루어져야 한다.

본 연구는 선형 모터의 이송체에 대한 열 특성 향상과 경량화를 목적으로 이루어졌다. 개발된 선형 모터의 이송체에 실험계획법(DOE; Design of Experiments)을 적용하여 설계 인자를 설정하고 각각의 인자에 따른 이송체의 열 특성과 경량화 문제를 유한체적법 상용코드 Fluent 를 이용한 열 해석을 통하여 분석하였다. [1,2] Fig. 1 과 Fig. 2 는 실험에 사용된 선형 모터와 그 이송체이다.



Fig. 1 Linear motor



Fig. 2 Mover of linear motor

2. 실험계획법을 통한 이송체의 형상 최적화

2.1 이송체의 기본형상 변화

선형 모터는 이송 속도의 증가에 비례해서 전류와 저항이 증가한다. 저항의 증가는 모터 자체의 온도 상승을 유발하므로 증가된 열의 제어가 필요하다. 본 연구에 사용된 선형 모터는 외부냉각장치 없이 자체냉각방식만으로 열적 제어가 가능한 것으로 이송체 형상이나 모터의 재질이 중요한 요소로서 최적설계를 통하여 열적 특성을 개선해야 한다. 또한 이송체의 경량화 목적을 위하여 기존의 부품의 호환성, 불필요한 공간과 응력 집중이 예상되는 부분을 선

정하였다. 이를 바탕으로 Fig.3 과 Fig.4 와 같이 기존 이송체와 수정된 이송체를 유한체적법 상용코드 Fluent 를 이용하여 열 해석을 수행하였으며 그 결과는 Table 1 과 같다. 기존 이송체에 대비하여 무게는 12.18% 감소하였으며 열 특성은 미소하게 개선된 것을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 수정된 형상에 대하여 실험 계획법(DOE; Design of Experiments)을 이용한 최적 설계가 이루어질 수 있음을 간접적으로 알 수 있다.



Fig. 3 The original mover



Fig. 4 The changed mover

Table 1 A weight and heat analysis of each moving part

| | Weight (g) | Percentage (%) | |
|--------------------|------------|----------------|-----|
| | | Min . | Max |
| The original mover | 2824 | 93 | 146 |
| The changed mover | 2480 | 91 | 143 |

2-2. 실험계획법을 이용한 이송체의 형상 최적화

경량화 및 열 특성 개선을 위한 설계 인자는 Fig. 5 와 같고 4 개의 위치에 대한 3 수준계의 직교배열표를 적용하였다. 목표 특성치는 코일부의 최대 온도값에 대한 망소 특성(smaller is better)을 적용하였다.[3] Table 2 는 최적 설계 변수를 나타낸다. Table 3 은 3 수준계 직교배열표를 적용한 $L_9(3^4)$ 형으로 이송체 중량과 코일부 끝단의 최대 온도를 분석한 것이다.

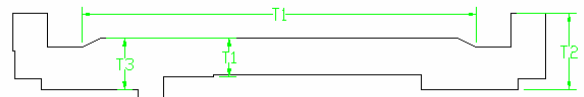


Fig. 5 Design factors

Table 2 Design factors for optimization

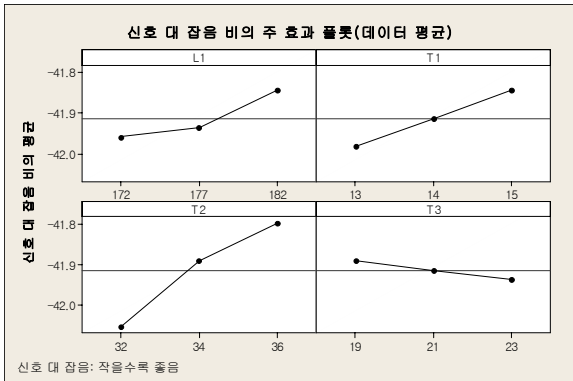
| | 1 level | 2 level | 3 level |
|----|---------|---------|---------|
| L1 | 172 | 177 | 182 |
| T1 | 13 | 14 | 15 |
| T2 | 32 | 34 | 36 |
| T3 | 19 | 21 | 23 |

Unit : (mm)

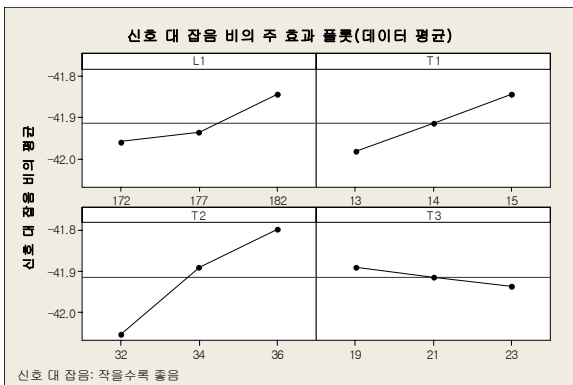
Table 3 Orthogonal array for $L_9(3^4)$

| L1 | T1 | T2 | T3 | Weight (g) | Max Temp.(°C) |
|----|----|----|----|------------|---------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2040 | 146 |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2230 | 144 |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 2420 | 143 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 2240 | 145 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 2248 | 145 |
| 2 | 3 | 1 | 2 | 2232 | 145 |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 2258 | 144 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 2232 | 145 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 2252 | 145 |

를 얻을 수 있었다. Fig. 7 은 최적 설계를 통하여 얻은 치수로 3 차원 모델링하여 유한 체적 해석한 결과이다. 설계 인자는 각각 $L1_1, T1_1, T2_2, T3_3$ 으로 하였다.



(a) Temperature for SN ratios



(b) Weight for Mean values

Fig. 6 Results of DOE(Design of experiment)

Fig. 6 과 같이 설계 인자 T2 에 대한 이송체의 코일부 끝단의 온도와 중량이 다른 설계 인자에 대해 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 이송체의 열 특성과 경량화를 모두 만족하는 최적화된 인자를 설정하기 위해 $L1_1, T1_1, T3_3$ 를 고정하고 T2 에 대한 변화를 재해석 하였다

Table 4 Full factorial of design factors T1

| T2 | Weight (g) | Percentage (%) |
|----|--------------------|------------------|
| 1 | 2160 (23.51% ↓) | 144 (0.68% ↓) |
| 2 | 2260 (19.97% ↓) | 137 (5.51% ↓) |
| 3 | 2420 (14.3% ↓) | 141 (2.75% ↓) |

Table 4 에서 볼 수 있듯이 설계 인자 T2 의 변화에 따라 이송체의 코일부 끝단의 온도 변화를 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 최적의 이송체 치수를 선택하여 무게는 19.97% 감소하고 코일부 끝단의 온도는 5.51% 감소의 결과



Fig. 7 Optimized model of result of FVM

3. 결론

개발된 선형 모터에 대한 열 특성을 분석하였으며 유한 체적법을 이용하여 이를 검증하였다.

개발된 이송체를 모델링하고 그 모델에 대하여 실험계획법을 적용하여 경량화와 열 특성에 대한 최적화 과정을 수행하여 기존 이송체와 비교하여 무게는 19.97% 감소하였으며 코일부의 최대 온도값은 5.51% 감소하였다. 이를 바탕으로 향후 설계될 이송체에 대하여 무게와 열 특성에 직접적인 영향을 주는 설계 변수를 유한체적법 상용코드 Fluent 을 이용한 해석 결과를 바탕으로 확인할 수 있었으며 설계 방향을 제시하였다.

후기

본 연구는 산자부 중기거점과제의 수행 결과를 바탕으로 작성되었으며 연구에 도움을 주신 OTIS 엘리베이터(유) 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. W.H. Yang, Y.S Tarng, "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method," Journal of Materials Processing Technology, 84, pp. 122-129, 1998.
2. 이병찬, 강연식, 양동열, 문재호, "다구찌방법을 이용한 디프드로잉 공정의 가공성평가에 대한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 938-942, 1996.
3. 정원진, 이춘만, 조영덕, 윤상환 "다구찌 방법을 이용한 초고속 컬럼 이동형 머시닝 센터의 진동 저감 방안 연구" 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 445-446, 2006.