

리니어 모터의 전기적 특성을 고려한 LMTT용 이동체의 최적설계

안태원*(동아대 대학원 기계공학과), 한근조(동아대 기계공학과), 한동섭, 이성욱, 이경민,
이정명(동아대 대학원 기계공학과)

Optimum Design of the Mover for LMTT considering the Elastic Characteristic of the Linear Motor

T. W. An(Mech. Eng. Dept., DongA), K. J. Han(Mech. Eng. Dept., DongA), D. S. Han(Mech. Eng. Dept., DongA), S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DongA), K. M. Lee(Mech. Eng. Dept., DongA), J. M. Lee(Mech. Eng. Dept., DongA)

ABSTRACT

LMTT(Linear Motor based Transfer Technology) is a new type of transfer system used in the maritime container terminal for the port automation, and largely consists of a controller, shuttle car, and rail. The shuttle car is divided into the frame part, the driving part, and wheels. In order to design this system, various researches on each part of it must be conducted. In this study, we dealt with the optimum design for the frame part of the shuttle car designed from previous studies on the strength of the frame with respect to the number of cross beams to minimize the weight of the shuttle car and to satisfy design criteria of cargo-handling systems in container terminal. For the optimization of the frame, thicknesses of each beam were adopted as design variables, the weight of the frame as objective function, and stress and deflection per unit length as constraint condition.

Key Words : LMTT, Shuttle car (셔틀카), Mover (이동체), Optimum Design (최적설계), Cargo-handling System (하역장비)

1. 서론

LMTT용 셔틀카는 프레임(frame), 이동체(mover), 휠(wheel)로 구성되며, 레일에 설치된 전자석인 고정자(stator)와 셔틀카의 이동체의 아랫부분에 설치된 영구자석에 의해서 구동을 하게 된다. 셔틀카는 폭이 2.6m, 길이가 15m에 이르며 20ton의 자중과 40ton의 컨테이너를 적재한 후 30ton의 부상력과 흡입력이 작용하게 되며 반해 네 개의 휠에 의해서 지지되므로 굽힘에 의한 처짐이 발생하게 된다. 이러한 이동체의 처짐은 이동체의 가보에 부착된 영구자석과 레일에 설치된 고정자 사이의 간격을 변화시켜 추력이 불균일하게 되는 원인이 된다.

균일한 추력을 발생시키기 위해서는 크게 이동체의 전 길이에 걸쳐서 처짐의 차를 최소화시키기 위한 구조최적설계를 수행하는 방법과 전자석과 영구자석사이의 간격 차이를 보상하기 위한 알고리즘을 개발하는 방법으로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 이 중에서 전자에 대해서 다루고자 한다.

2. 구조최적설계

2.1 해석 및 하중조건

LMTT용 셔틀카의 이동체는 가로 보(longitudinal

beam), 세로 보(transverse beam), 휠 보(wheel beam)로 구성되어 있으며, Fig.1에 Mesh된 형상을 나타내었다. LMTT용 셔틀카는 최대 40ton의 컨테이너를 장착하게 되고 셔틀카중 프레임의 자중이 10ton이므로 이동체에 작용하게 되는 정하중은 50ton이 되며 구동 시 빠른 응답을 확보를 위해 가로보에 30ton의 부상력과 흡입력을 작용시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 이동체의 각 보의 치수를 결정하기 위하여 컨테이너와 프레임의 자중만을 고려한 경우(Ca

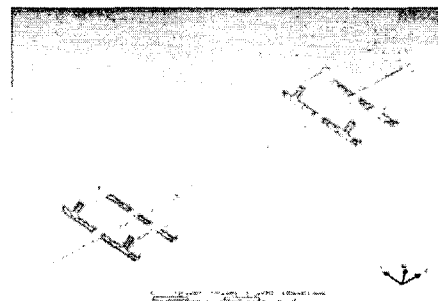


Fig.1 Meshed shape of the mover in a shuttle car for LMTT

se I), 가로보에 부상력을 작용시킨 경우(Case II), 가로보에 흡입력을 작용시킨 경우(Case III)의 세 가지 하중조건을 설정하였다.

2.1 최적설계의 정식화

항만 하역장비 설계응력기준을 만족하면서 균일한 추력을 발생시키기 위한 이동체의 최적설계를 위한 정식화는 다음과 같다.¹

$$X = [T_{LB}, T_{TB}, T_{WB}]^T$$

Minimize : $W_M(X)$

$$\text{Subject to : } 1.5 - \frac{\sigma_y}{\sigma_m} \leq 0$$

$$|\delta_{\max} - \delta_{\min}| - 10 \leq 0$$

3. 최적설계 및 결과

각 부재는 직사각형 단면을 가진 보로 초기두께는 모두 10mm로 설정하였다.²⁻³ Fig. 2에 초기조건에서 이동체의 응력 및 처짐을 나타내었다. Case I에서 초기조건과 VT방식을 적용한 ANSYS Workbench를 이용하여 최적설계를 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다. 응력기준을 만족하는 최적치수는 각각 7, 9, 11mm로 나타났으며, 이때 처짐의 차는($\Delta\delta$) 2.65mm로 균일한 추력을 발생시킬 수 있는 범위에 있음을 알 수 있다.⁴ Case II, Case III에서도 각각 동일한 방법으로 최적설계를 수행하였으며 그 결과를 Table 2, Table 3에 나타내었고 최적설계 값 역시 균일한 추력을 발생시킬 수 있는 처짐 제한조건을 만족하였다.

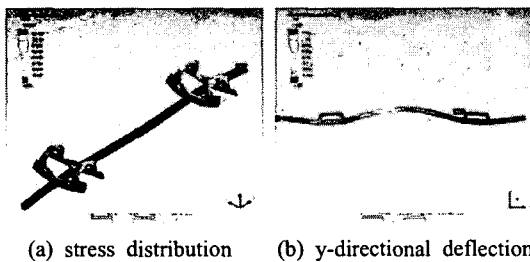


Fig. 2 Finite element analysis results of the mover in a shuttle car for LMTT

Table 1 Initial and Optimal value in case I

Item	Design Value			Stress			Deflections		Weight
	LB	TB	HB	σ_{\max}	δ_{\max}	δ_{\min}	W_M		
initial	10	10	10	120	1.58	-1.7	2508		
optimal	7	9	11	131	1.05	-1.6	2215		

Table 2 Initial and Optimal value in case II

Item	Design Value			Stress			Deflections		Weight
	LB	TB	HB	σ_{\max}	δ_{\max}	δ_{\min}	W_M		
initial	7	9	11	170.2	2.2	-1.4	2215		
optimal	9	13	14	121.3	12.7	-0.8	2706		

Table 3 Initial and Optimal value in case III

Item	Design Value			Stress			Deflections		Weight
	LB	TB	HB	σ_{\max}	δ_{\max}	δ_{\min}	W_M		
initial	7	9	11	245.3	1.49	-3.04	2215		
optimal	28	31	36	131.5	0.05	-6.9	5984		

4. 결론

LMTT용 셔틀카의 이동체를 설계하기 위한 기초 자료로 이동체를 구성하고 있는 구조의 두께를 설계 변수로 설정하고 강도기준을 고려하여 구조최적설계를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 하중조건을 고려한 세 가지의 경우에서 응력기준을 만족하는 각 부재들의 최적값을 찾았으며 이 때 가로보의 최대 처짐과 최소 처짐의 차이가 10mm 이내로 제한조건을 만족하였다. 또한 각각의 하중조건에서 부재들이 안전율이 고려된 응력조건을 만족한다면 변위의 처짐 조건도 만족한다는 것을 알 수 있었다.
2. LMTT용 이동체의 구조최적설계로 이동체의 경량화와 전 길이에 걸친 처짐의 차를 최소화 하여 균일한 추력을 발생시키게 함으로써 효율적인 이동체의 구동이 가능하게 되었다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Arora, J. S. [Introduction Optimum Design(1989)], McGraw-Mill Book Company
2. GD. S. Han, G. J. Han, K. S. Lee, J. J. Shim, T. H. Kim(2004):"The effect of Thickness Ratio and Hight Ratio of Inner Beam on Strength and Stiffness of Fame in Shuttle Car for LMTT", Korean institute of Navigation and Port Research Journal. Vol. 28. No. 3. pp.207-211.
3. K. H. Lee, J. K. Shin, S. I. Song, T. M. Too, G. J. Park(2003):"Automobile door design using structural optimization design of experiment". J. Automobile Engineering, Vol. 217, pp.B55-B65
4. 해양수산보고서(2000), 항만시설장비검사기준.