

컨테이너의 낙하높이에 따른 LMTT 용 Shuttle Car 의 충격흡수기 설계

한동섭*(동아대 대학원 기계공학과), 한근조(동아대 기계공학과),
심재준(동아대 대학원 기계공학과), 김태형(경남정보대학 기계자동차산업학부)

Design of the Impact Absorber used for a Shuttle Car for LMTT with respect to the Drop Height of a Container

D. S. Han(Mech. Eng. Dept. DAU), G. J. Han(Mech. Eng. Dept., DAU) , J. J. Shim(Mech. Eng. Dept., DAU),
and T. H. Kim(Subdivision of Mech. & Ind. Sys., KIT)

ABSTRACT

LMTT (Linear Motor-based Transfer Technology) is horizontal transfer system in the maritime container terminal for the port automation. The system is driven by PMLSM (Permanent Magnetic Linear Synchronous Motor) that is consists of stator modules on the rail and shuttle car. This paper investigates the effect of the drop height of container on impact reaction force of the Impact Absorber (IA) in shuttle car for LMTT. The results of this investigation are obtained from detailed finite element analysis for various parameters, such as the spring coefficient, the drop height of container.

Key Words : LMTT (Linear Motor based Transfer Technology), Transfer System (이송장치), Impact Reaction Force (충격 반력), Cargo-Working System (하역장비), Impact Absorber (충격흡수기)

1. 서론

세계 컨테이너 무역 규모가 연간 7.3%씩 증가함에 따라 초대형 컨테이너선 (Ultra Large Container Ship)의 출현 등 항만의 환경이 급격히 변화하고 있는 추세이며, 20 년 이내에 15,000~18,000 TEU급의 초대형 컨테이너선의 출현이 예상된다. 초대형 컨테이너선의 출현은 물류 중심항 (Hub-port)과 주변항 (Feeder-port)으로 세계 항만을 양분 시키는 지각변동을 예고하고 있다. 이러한 항만의 변화에 성공적으로 대처하기 위해 각국은 새로운 개념의 초고속, 자동화된 차세대 항만하역 시스템이 개발에 총력을 기울이고 있다. 항만 자동화를 위해서는 컨테이너 하역과 이송장치, 게이트 및 운영 시스템의 연계 등 여러 분야가 있으며, 본 논문에서는 그 중에서 LMTT를 통한 이송장치의 고속화, 자동화를 위한 구조물 설계에 대한 내용을 다루고자 한다.¹

기존의 터미널 내의 컨테이너 이송장치 자동화

를 위한 해결 방안으로 지금까지 AGV (Auto-mated Guided Vehicle)가 거론되어 오고 있다. 네덜란드 ECT항에서는 이미 운영 중이며, 싱가포르, 독일, 중국 등에서 적용을 앞두고 있다. 그러나 AGV는 운전 속도가 6m/s 정도이며, 그 외 센서의 불확실성, 부 시스템들의 조합으로 인해 발생하는 여러 가지 문제들을 가지고 있다. 따라서 이런 문제들을 해결하고, 자동화를 쉽게 달성하기 위하여 LMTT가 새로운 해결책으로 제안되고 있으며, 이미 독일의 Hamburg항에서는 대형 linear motor를 이용한 컨테이너 이송장치를 개발하여 시운전을 앞두고 있는 상태이다.^{2,3}

LMTT 는 수직·수평 이동이 가능하도록 설계된 shuttle car 의 wheel 구조와 격자구조의 rail 로 구성되어 있으며, LSM (Linear Synchronous Motor)방식으로써 영구자석편이 설치된 shuttle car 와 rail 사이에 일정한 간격으로 설치된 stator module 에 의해 구동 된다. LMTT 용 shuttle car 를 설계하기 위해서는 frame, stator module, wheel,

rail 등의 형상에 관한 연구, container 의 충격에 대한 평가, linear motor 에서 발생하는 열에 관한 연구 등 다양한 연구가 진행되어야 한다.

본 연구에서는 shuttle car의 구조설계를 위한 기초 자료로서 컨테이너의 낙하높이와 LMTT용 shuttle car의 충격흡수기 (Impact Absorber, 이하 IA라 함)의 스프링상수가 충격흡수장치의 충격반력에 미치는 영향을 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 7.0 을 이용하여 살펴보고자 한다.⁴

2. 충격흡수장치의 유한요소해석

2.1 해석모델 및 경계조건

낙하높이가 충격흡수장치의 충격반력에 미치는 영향을 평가하기 위해 사용된 LMTT 용 shuttle car 의 frame 및 컨테이너의 재료는 연강을 사용하였으며, 기계적성질은 Table 1 과 같다.

Table 1. Mechanical properties of mild steel

Items	E (GPa)	ν (-)	ρ (kg/mm ³)	σ_y (MPa)
Value	210	0.29	7.85×10^{-6}	206

컨테이너 크레인에서 컨테이너 상자를 이송장치에 적재할 때 10~20cm 의 높이에서 자유낙하 시키므로 shuttle car 의 frame 과 stator module 부 사이에 충격흡수장치가 설치된다. 본 연구에서는 40ft-컨테이너 상자를 높이 H 에서 자유낙하 시킬 때 충격흡수장치의 충격 반력을 평가하기 위하여 container box, shuttle car 의 frame, 스프링형 충격흡수장치를 Fig. 1 과 같이 모델링 하였다.

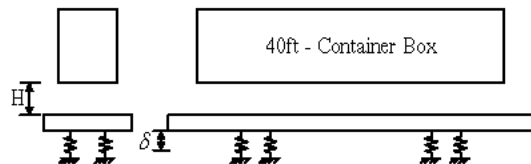


Fig. 1 Schematic of model used for impact analysis of IA in a shuttle car

여기서 40ft-컨테이너 상자는 각 절점에 6-자유도(Ux, Uy, Uz, Rotx, Roty, Rotz)를 갖는 3 차원 Beam 요소를 사용하여 요소분할 하였다.

충격흡수기에 사용되는 스프링의 최대압축변위 δ_{max} 는

$$\delta_{max} = \delta_{st} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_{st}}} \right) \quad (1)$$

이 되며, 스프링 상수 K는

$$K = \frac{2W(H + \delta_{max})}{\delta_{max}^2} \quad (2)$$

이 된다. 여기서 δ_{st} 는 정하중 상태에서의 최대 스프링 압축 변위, W는 컨테이너 하중, H는 컨테이너 낙하높이를 각각 나타낸다.

shuttle car 의 frame 은 전체 구조물의 뼈대가 되는 inner beam, container box 를 지탱하는 outer beam, inner beam 과 outer beam 을 연결시켜 보강하는 cross beam 의 세 부분으로 구성되며 형상은 Fig. 2 와 같고 컨테이너 상자와 같이 각 절점에 6-자유도를 갖는 3 차원 beam 요소를 사용하여 요소분할 하였다. 충격흡수기는 스프링과 댐퍼의 조합으로 이뤄진 3 차원 2 절점 combination 요소를 사용하여 모델링 하였으며, Fig. 1 과 2 에서와 같이 8 곳의 지지단에 병렬로 연결되어 있다. 그리고 컨테이너와 frame, frame 과 고정단 사이는 3 차원 contact 요소를 사용하여 모델링 하였다.

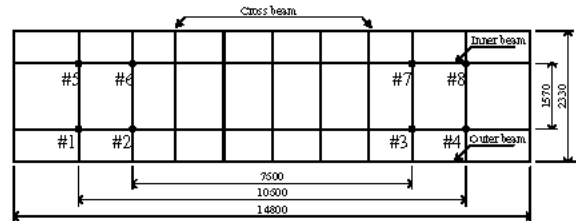


Fig. 2 Finite element of the frame in a Shuttle Car for the LMTT

해석을 위한 구속조건은 Fig. 1 에서와 같이 충격흡수기의 아래 부분을 완전고정 하였으며, 작용 하중은 40ft-컨테이너 상자의 최대 적재하중에 해당하는 40ton 을 적용하였다.

2.2 설계변수

컨테이너의 낙하높이가 LMTT 용 shuttle car 의 충격흡수기의 충격반력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 스프링 유효압축변위 (δ)를 30mm 로 설정하고 컨테이너의 낙하높이 (H)와 스프링 상수 (K)를 설계변수로 설정하였다.

2.2.1 컨테이너 상자의 낙하높이 (H)

컨테이너의 낙하높이에 따른 충격흡수장치의 충격반력을 평가하기 위하여 컨테이너 상자의 낙하높이로써 50mm, 100mm, 150mm 의 3 가지에 대하여 평가하였다.

2.2.2 충격흡수기의 스프링 상수 (K)

스프링 상수 (K)는 30mm 의 스프링 유효압축변위에서 6ton 의 무게를 갖는 frame 의 자중을 견딜 수 있도록 최소 1kN/mm 이상 되어야 한다. 또한 낙하높이 (H)에 따라 요구되는 값이 증가하게 되므로 낙하높이 (H) 50mm 일 때 5, 6, 7, 8, 9kN/mm, 낙하높이 (H) 100mm 일 때 10, 11, 12, 13, 14kN/mm, 낙하높이 (H) 150mm 일 때 15, 16, 17, 18, 19kN/mm 으로 5 가지씩 선정하여 낙하높이에 따른 충격흡수기의 충격반력을 평가하였다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 각 고정단에서의 충격반력 비교

컨테이너의 낙하에 따른 충격하중 작용 시 최대 충격반력이 작용하는 고정단을 알아내기 위하여 각 고정단에서 시간에 따른 충격반력의 변화추이를 Fig. 3 에 나타내었다.

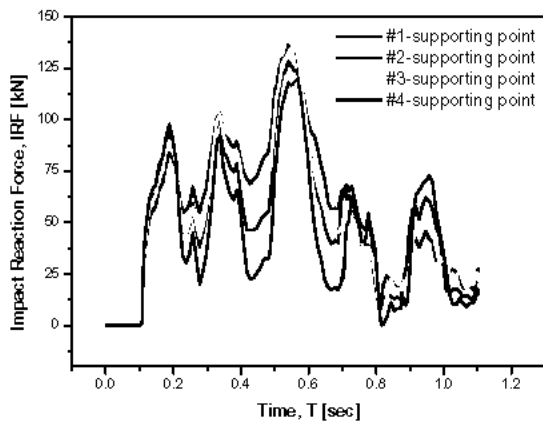


Fig. 3 Impact reaction force-time curve in each supporting point with respect to the time

Fig. 3 을 살펴보면, 최대 충격반력은 Fig. 2 에서 나타낸 2 번 고정단에서 발생함을 알 수 있다. 따라서 2 번 고정단을 기준으로 컨테이너의 낙하높이 (H)와 스프링 상수 (K)에 따른 충격반력과 압축변위를 살펴보고자 한다.

3.2 시간-충격반력, 시간-스프링압축변위곡선

컨테이너의 낙하높이가 충격흡수기의 충격반력에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 2 번 고정단에서 3 가지의 컨테이너의 낙하높이 (H)에서 스프링 상수 (K)에 따른 충격반력과 압축변위를 Fig. 4, 5, 6 에 각각 나타내었다.

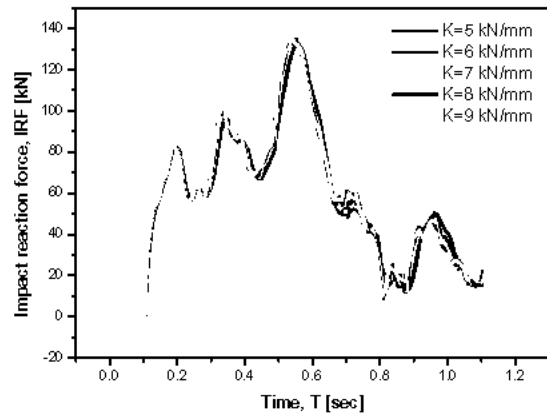


Fig. 4(a) Impact reaction force-time curve with respect to K as H=50mm

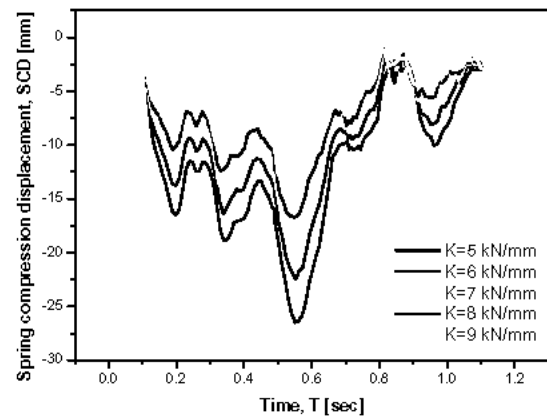


Fig. 4(b) Spring compression displacement-time curve with respect to K as H=50mm

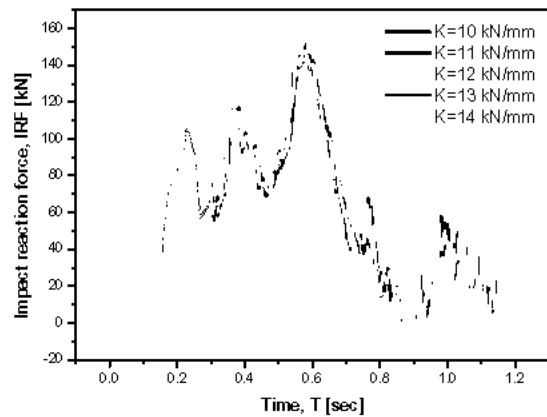


Fig. 5(a) Impact reaction force-time curve with respect to K as H=100mm

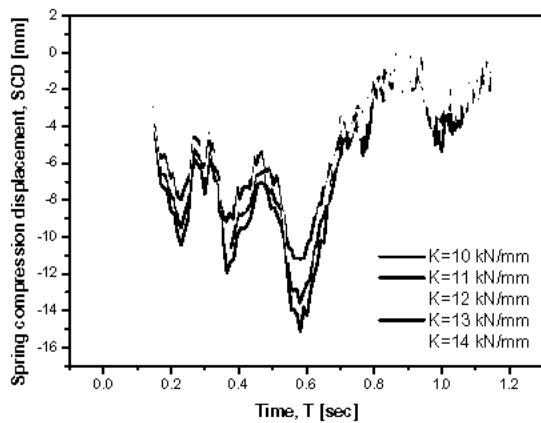


Fig. 5(b) Spring compression displacement-time curve with respect to K as H=100mm

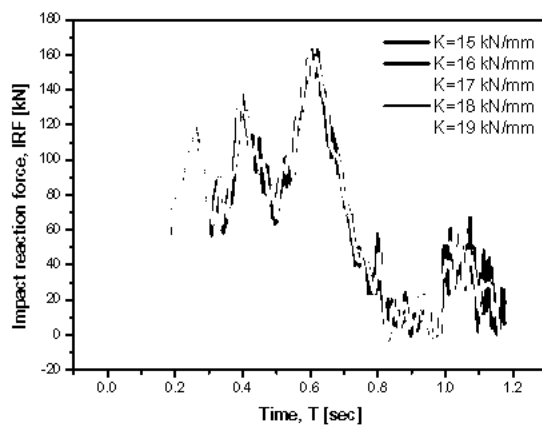


Fig. 6(a) Impact reaction force-time curve with respect to K as H=150mm

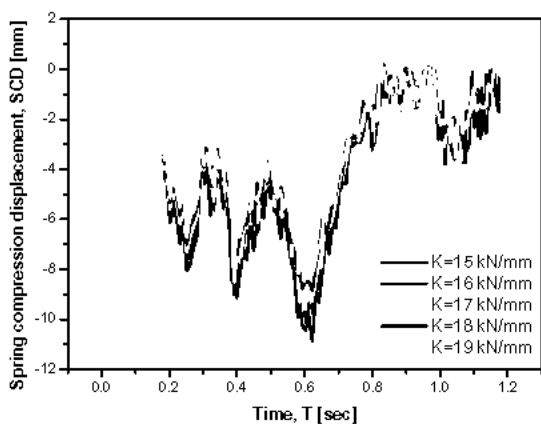


Fig. 6(b) Spring compression displacement-time curve with respect to K as H=150mm

컨테이너 낙하높이 50mm 일 때 충격흡수기를 갖는 구조물의 최대 충격반력은 136kN 으로 충격흡수기가 없는 경우 2151.9kN 에 비해 94%의 충격흡수율을, 컨테이너 낙하높이 100mm 일 때 최대 충격반력은 145kN 으로 충격흡수기가 없는 경우 4474.6kN 에 비해 97%의 충격흡수율을, 컨테이너 낙하높이 150mm 일 때 최대 충격반력은 160kN 으로 충격흡수기가 없는 경우 6982.5kN 에 비해 98%의 충격흡수율을 각각 보였다.

각각의 컨테이너 낙하높이에서 스프링 상수에 따른 최대 스프링 압축변위를 구하여 지수함수로 fitting 한 결과 컨테이너 낙하높이 50mm 일 때 최대 스프링 압축변위가 30mm 이내가 내기 위해서는 스프링 상수는 4.34kN/mm 이상, 컨테이너 낙하높이 100mm 일 때 스프링 상수는 5.82kN/mm 이상, 컨테이너 낙하높이 150mm 일 때 스프링 상수는 6.24kN/mm 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

4. 결론

컨테이너의 낙하높이에 따른 충격흡수장치의 충격반력 및 스프링 압축변위 사이의 관계를 규명함으로써 항만 자동화를 위한 수평이송장치인 LMTT 용 shuttle car 의 충격흡수기 설계를 위한 기초자료를 완성하였다. 이를 바탕으로 사용자 환경에 따른 충격흡수기용 적정 스프링 장치를 결정할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국과학기술부(MOST) 지정 국가지정 연구실사업(NRL)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Sakamoto, T., and Shiromizu, T., "Propulsion Control of Superconducting Linear Synchronous Motor Vehicle," IEEE Trans. on Magnetis, Vol. 33, No. 5, pp. 3460-3462, 1997.
2. Park, K. T., "Intelligent Technology of Port Logistics System," J. of KSPE, Vol. 19, No. 2, pp. 41-48, 2002.
3. Franke, Klaus-Peter, "Boosting Efficiency of Split Marine Container Terminals by Innovative technology," 2001 IEEE Intelligent Transportation System Conference Proceedings, pp. 774-779, 2001.
4. Yang, Y. S., Lee, S. H., and Lee, C. S., "A Strength Analysis of the AGV Structure using the Finite Element Method," J. of KSME, Vol. 7, No. 3, pp. 37-42, 1998.