

컨테이너 적재 시스템의 구조 모델링 및 특성 해석

김영상*, 맹희영†

(논문접수일 2011. 07. 11, 수정일 2011. 08. 04, 심사완료일 2011. 08. 09)

Structural Modeling and Characteristic Analysis of Container Handling System

Young-Sang Kim*, Heeyoung Maeng†

Abstract

A CHS(Container Handling System) is a system to load and to unload ISO 2000 or ISO 4000 standard containers which is widely used for various industrial transport purpose. A new light type of CHS is introduced in this paper, in order to reduce weight of cargos and to give the convenience in cargo loading and unloading without additional lifting equipments. The structural models of this system are created to assemble the smooth integration of system and to interface the each composing units with the specification of truck chassis to be mounted. These models are applied to find the suitable design parameters under the condition of force restrictions of each units. Finally, the stability of this system are investigated by analyzing the dynamic simulation using Visual NASTRAN 4D, and it could be recommend the good design parameters for the manufacturing purpose.

Key Words : Container handling system(CHS; 컨테이너 적재 시스템), Loading and unloading(적재 및 하적), 3-D modeling of structure(구조물의 3차원 모델링), Dynamic simulation(동특성 시뮬레이션)

1. 서론

컨테이너 핸들링 시스템(CHS; Container Handling System)은 ISO 2000이나 ISO 4000 규격의 컨테이너를 적재, 하적 및 운반하는 시스템으로 중화학, 건설, 군수 및 일반 화물 운송에 널리 쓰이고 있다⁽¹⁾. 특히 최근에는 자동 적재 및 하적 기능을 갖춘 CHS가 해외에서 개발되어 트럭 및 트레일러에 장착되어 사용되고 있다. 이 CHS는 컨테이너를 타장비에 의존하지 않고 스스로 적재 및 하적할 수 있을 뿐만 아니라, 경량화된 기구로 구성되어 있기 때문에 자중 감소분만큼이나 추가로 화물을 적재할 수 있다⁽²⁾.

본 연구는 ISO 2000 규격 컨테이너의 적재, 하적 장치를 국

내 트럭 재원에 맞추어 일체화하고, 기존 시스템에 비해 단순화시킨 소형 CHS의 개발을 목적으로 수행되었다. Roll & rail guide unit, winding unit, tilting unit, lifting unit(trolley), 유압실린더 및 제어장치 등의 주요 구성 요소를 기구 메커니즘으로 구성하였으며, 이를 바탕으로 3차원 모델링을 통해 각 요소 간의 간섭과 결합 관계를 검증하였다^(3,4). 그리고 탑재 트럭의 기본 재원과 개발된 메커니즘을 바탕으로 역학적 해석을 통해 작용력의 안정성과 적합성을 검증하였다⁽⁵⁻⁷⁾. 또한 Visual Nastran 4D⁽⁸⁾를 활용하여 동적 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 통해 컨테이너 적재 및 하적 시스템의 적절한 동작과 안정성을 확인하였다.

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원

† 교신저자, 서울과학기술대학교 기계설계·자동화공학부 (maeng@seoultech.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉길 138

2. 시스템 구성

CHS 시스템은 Fig. 1(a) 및 (b)와 같이 트럭의 새시 위에 장착되며 Fig. 1(c)에서 볼 수 있는 바와 같이 크게 roll & rail guide unit, winding unit, tilting unit, lifting unit, 유압실린더 및 제어장치로 구성하였다. 이때 고정프레임은 새시의 크기, 트럭의 기본제원, 새시와의 간섭여부 및 위에 장착될 이송프레임 (tilting frame)의 행정과 결합방법을 고려하여 Fig. 2와 같이 모델링하였다.

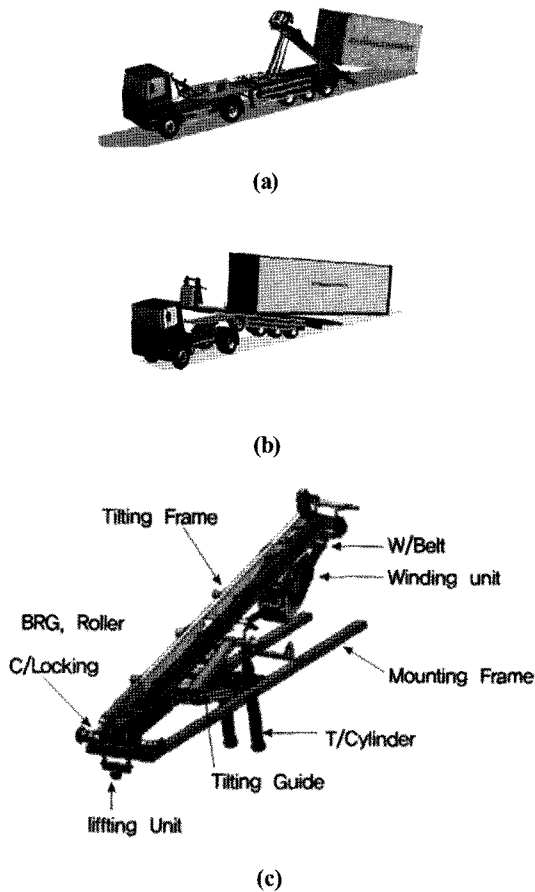


Fig. 1 Configuration of CHS with self-loader

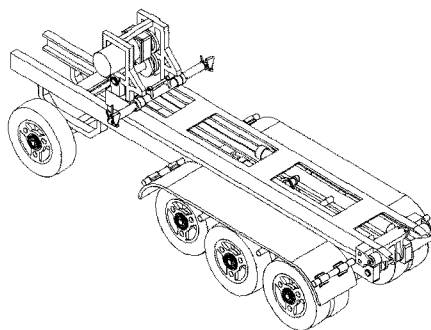


Fig. 2 Modelling of a mounting frame

다음으로는 차량의 고정프레임 위에 장착될 이송프레임을 Fig. 3과 같이 모델링하였다. 이는 이송프레임의 규격과 한계치, 구비조건, 간섭여부를 고려하여 이루어졌으며, 이송 프레임과 고정 프레임 사이의 rail guide(그림의 ④⑥)에는 1m 간격으로 롤러를 고정하고 이를 매개로 상호 안내정밀도를 유지하면서 부드럽게 새시를 따라 이송되는 구조를 채택하여, 컨테이너를 지지하기 위한 winding unit(그림의 ⑱~㉓번), roll & rail guide unit(그림의 ⑪~⑰번), 그리고 tilting unit(그림의 ③~⑩번) 등의 상세 요소를 모델링하였다. 여기서 tilting unit는 트레일러 적재 및 하적시 틸팅 실린더(그림의 ②③)에 의해 고정프레임과 이송프레임에 경사를 주기 위한 요소이다.

그리고 lifting unit는, Fig. 4에서 보는 바와 같이, 컨테이너를 winding unit를 통해 끌어 올릴 때 벨트에 연결되면서 컨테이너의 하부 프레임에 있는 규격화된 구멍 홈에 걸어주는 장치로서, 이는 “ㄱ”자 모양의 trolley body에 의해 지지대가 위로 들어지는 원리로 모델링하였으며, 컨테이너와 연결된 후 winch에 의해 고리부분이 당겨지고 그로 인해 지지대는 컨테이너와 함께 위로 들어 올리게 하는 작동원리를 응용하였다.

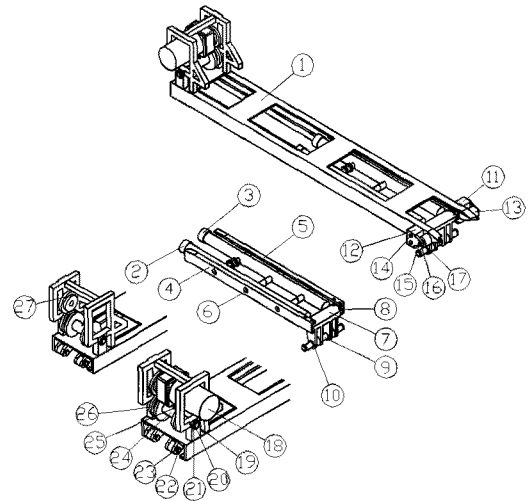


Fig. 3 Modeling of roll & guide, winding and tilting unit

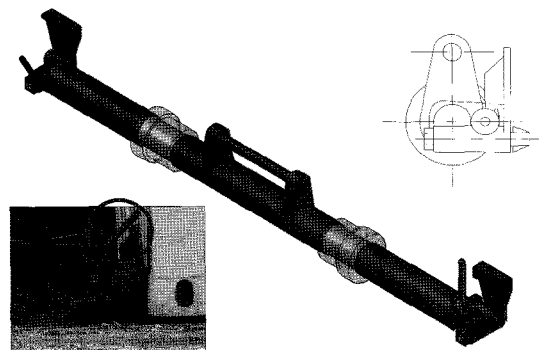


Fig. 4 Modeling of a trolley

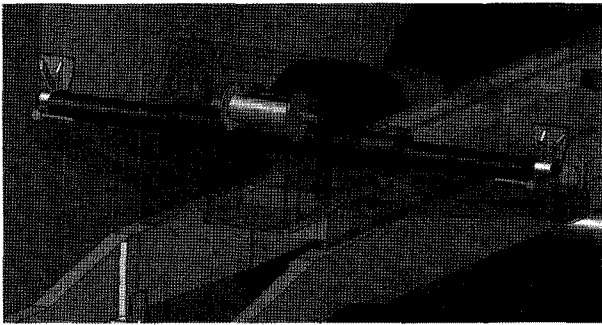


Fig. 5 Modeling of a trolley and a winding unit

Fig. 5는 lifting unit가 winding unit에 의해 완전히 tilting unit 상부 끝까지 당겨져 있는 상태를 모델링한 것을 보여준 것이며, 하부 프레임과의 연결된 관계를 나타낸 것이다.

3. 컨테이너 적재 및 하적의 안정성 평가

컨테이너를 적재 및 하적할 때에는 컨테이너가 바닥에서 미끄러지는 일이 없어야 하기 때문에 컨테이너가 바닥과 접촉하고 있을 때에는 컨테이너는 정지하여 있고 반대로 트럭이 컨테이너 밑으로 들어가야 한다. 이 조건을 만족시키기 위해 트럭 중량, 프레임 중량, 바퀴 마찰계수, 컨테이너 마찰계수, 윈치 장력 조건⁹⁾을 평가하고, 적재(하적)중인 컨테이너 하중에 따라 변하는 각각의 하중을 구하기 위하여 역학적 관계를 적용하였다.

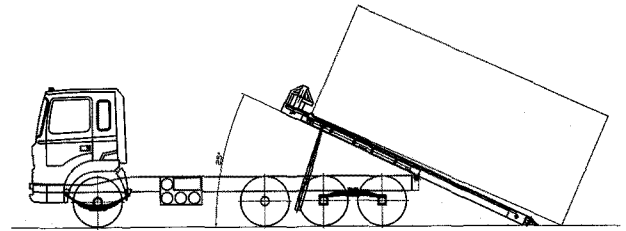
Fig. 6(a)는 컨테이너의 적재 초기의 모양을 나타낸 것이며, 이 상태에서 컨테이너에 작용하는 힘들을 자유물체도로 나타낸 것은 Fig. 6(b)와 같다. 이때 컨테이너 무게중심은 중간에 위치하며 $\theta \geq \phi$ 라고 가정하였다.

한편 트럭에 작용하는 힘의 관계는 Fig. 7에 나타내었다. 이때 트럭의 무게중심은 $l_1 = 1.13m$, $l_5 = 0.94m$ 에 위치하며, θ 및 ϕ 값에 따라 l_2, l_3, l_4, l_6, l_7 값을 정할 수 있었다^{9,10)}.

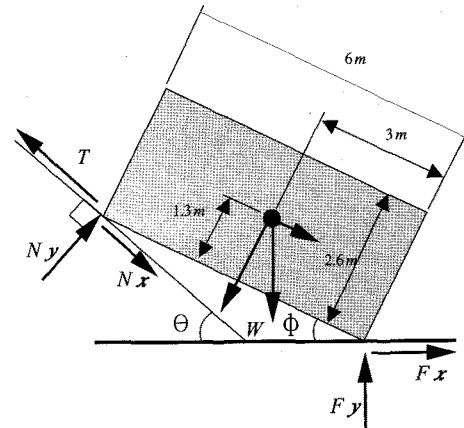
위의 역학적 관계를 통해 Table 1과 같은 8가지의 특성방정식을 구하였는 바, 이 방정식으로부터 트럭 중량에 따라 컨테이너가 미끄러지지 않기 위한 조건으로서, 컨테이너의 최소 마찰계수, 트럭의 바퀴 마찰력 증가에 따른 컨테이너의 최소 마찰계수 및 컨테이너 경사와 컨테이너 무게에 따른 윈치 장력간의 관계를 구할 수 있었다.

그리고 실린더로 컨테이너를 이송할 때 실린더에 작용하는 하중을 계산하여 실린더의 적정 용량을 구할 수 있었으며, 컨테이너 중량으로 인해 트럭이 들릴 위험이 없는지를 확인하기 위해 시뮬레이션 평가를 실시하였다.

한편 컨테이너를 적재 및 하적하는 동안 트럭의 안정성을 평가하기 위하여 Fig. 8과 같이 컨테이너(프레임 포함) 및 트럭에의 작용력 변화를 평가하였다. 이때 컨테이너(프레임 포함)의 무게중심은 높이 $l_3=1.4m$ (프레임과 컨테이너 총 높이의 절반)



(a)



(b)

Fig. 6 Force diagram of a container

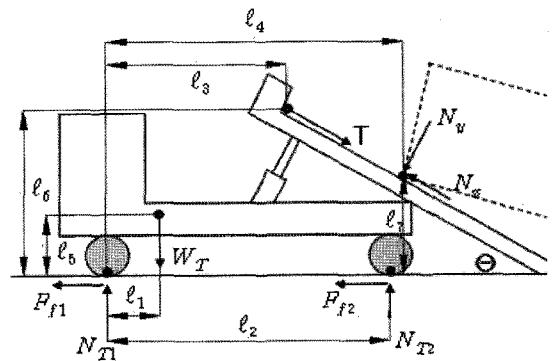


Fig. 7 Force diagram of a truck and a tilting frame

Table 1 Characteristic equations of the system

①	$F_y = \frac{6\mu_w(W + W_T)\sin\phi - W(3\cos\phi + 1.3\sin\phi)}{6(\mu_w\sin\phi - \cos\phi)}$
②	$F_x = \mu_w(W + W_T - F_y) = F_{f1} + F_{f2}$
③	$N_y = \frac{W - F_x \tan\theta - F_y}{\cos\theta + \sin\theta \tan\theta}$
④	$N_x = \mu_s N_y$
⑤	$T = \frac{N_y(\sin\theta + \mu_s \cos\theta) + F_x}{\cos\theta}$
⑥	$F_{f2} = \mu_w N_{T2}$
⑦	$N_{T1} = W_T + W - F_y - N_{T2}$
⑧	$F_{f1} = \mu_w N_{T1}$

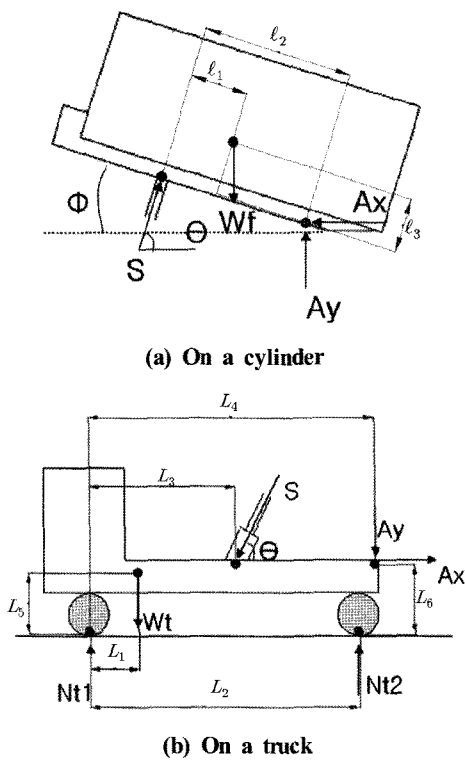


Fig. 8 Force diagram of a cylinder and a truck

Table 2 Characteristic equations of the system

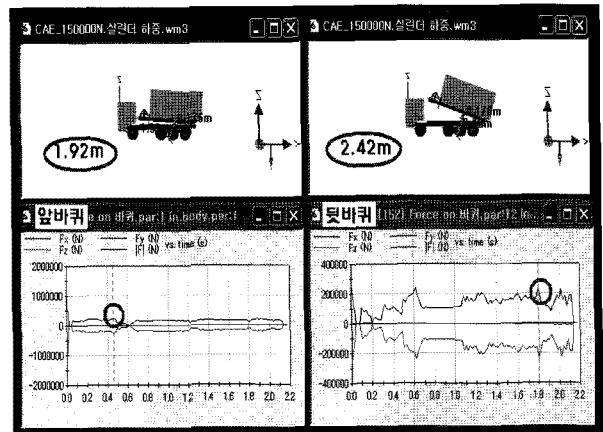
①	$S = \frac{W_f(l_2 \cos \phi - l_1 \cos \phi - l_3 \sin \phi)}{l_2(\sin \theta + \cos \theta \sin \phi)}$
②	$A_x = S \cos \theta$
③	$A_y = W_f - S \sin \theta$
④	$N_{t2} = \frac{W_t \cdot L_1 + S \sin \theta \cdot L_3 + A_y \cdot L_4 + A_x \cdot L_6 - S \cos \theta \cdot L_6}{L_2}$
⑤	$N_{t1} = W_t + A_y + S \sin \theta - N_{t2}$

에 위치하며, l_2 는 변하지 않는 것으로 하였다. 또한 트럭의 무게중심은 $L_1=1.13m$, $L_5=0.94m$ 이며, 축간거리 $L_2= 6.3m$ 의 표준값을 적용하였다.

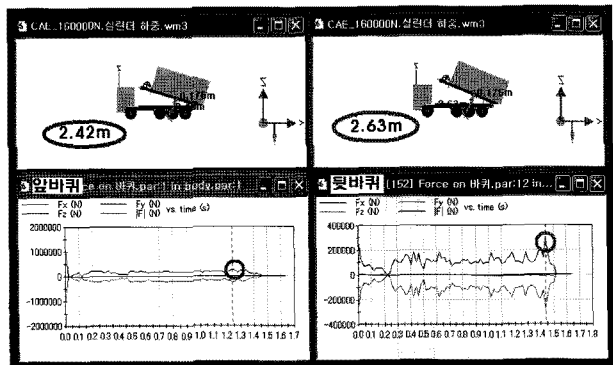
위의 관계를 이용하여 Table 2와 같이 5가지의 특성방정식을 구할 수 있었으며, 이들 관계를 통해 컨테이너 하중, 컨테이너 경사, 실린더 위치 l_2 에 따른 실린더 작용 하중의 변화 과정을 해석할 수 있었으며, 트럭 앞바퀴에 작용하는 하중 변화도 파악하여 컨테이너 이송시 트럭의 안정성 여부를 평가할 수 있었다.

4. 작동 및 안정성 시뮬레이션

앞 절에서 수행한 안정성 평가와 기본 데이터를 기반으로, 실린더의 용량 및 설치 위치 변화에 따른 시스템의 원활한 작동



(a) 150,000 N



(b) 160,000 N

Fig. 9 Simulation of loading at front and rear wheels

여부를 검토하기 위하여 Visual Nastran 4D⁽¹⁰⁾를 이용한 동적 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션을 통해 우선은 실린더의 위치에 따른 시스템의 작동 여부를 검토하였는데, 이는 컨테이너의 무게 중심과 실린더 위치 사이의 거리(-5m ~ +5m 사이)를 변수로 하고 실린더 허용부하의 크기에 따라 트럭 앞바퀴에의 작용하중을 검토하였다. 이때 작용하중이 음(-)의 값을 나타내는 경우는 트럭이 동적으로 들리는 현상이 발생하므로 이러한 불안정한 상태를 검토하기 위한 것이다. 그 결과 실린더 허용부하가 140,000N (약 14ton) 이하인 경우에는 컨테이너가 지면에서 떨어지면 서 후방에서 올라지는 초기 위치에서 동적으로 트럭의 앞바퀴에 0에 가까운 작용하중이 발생하는 현상을 관찰할 수 있었다.

이에 따라 실린더 허용부하는 이보다 큰 값인 150,000N과 160,000N의 2가지 하중을 기준으로 하였으며, Fig. 9와 같이 앞바퀴와 뒷바퀴에 작용하는 최대 하중을 검토하였다. 이때 실린더 허용부하로 150,000N이 작용할 때에는 실린더 길이가 1.92m 일 때 241,000N으로 앞바퀴에 최대 하중(Fig. 9(a)의 diagram에서 ○표 된 부위)이 작용하였으며, 뒷바퀴에는 실린더 길이가 2.42m 일 때 247,000N의 최대 하중이 작용하여 과부하가 없음을 검토할 수 있었다.(타이어의 사용 한계 하중을

300,000N으로 설정) 아울러 이때 실린더 허용부하로 160,000N 이 작용할 때에도 실린더 길이가 2.42m 일 때 255,000N으로 앞바퀴에 최대 하중(Fig. 9(b)의 diagram에서 ○표 된 부위)이 작용하였으며, 뒷바퀴에서는 실린더 길이가 2.63m 일 때 288,000N의 최대 하중이 작용하여 지정된 한계 영역 이내에 있음을 검토하였다.

다음으로는 이송프레임과 고정프레임 사이의 실린더 위치에 따라 시스템이 원활하게 작동할 수 있는지를 검토하였다. 이때 컨테이너의 무게는 30ton, 실린더 작용력은 16ton으로 하고 컨테이너 무게중심과 실린더 위치 사이의 거리 L을 지정 변수로 하여 시뮬레이션 하였다.

Fig. 10과 같이 컨테이너 중심과 실린더 사이의 거리가 3.26m 이내인 경우에는 앞바퀴가 들릴 위험 없이 안정적임을 알 수 있었다.

또한 빈 컨테이너(2.2ton)를 90°로 세울 수 있는지를 검토하였다. 이때 구속조건으로 공차 중량은 15ton, 실린더의 허용부하는 16ton으로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과, Fig. 11에 나타난 바와 같이 앞바퀴가 들리지 않음을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 컨테이너 내부에 일부 화

물이 남아있는 경우에도 컨테이너는 안전하게 90°로 세울 수 있음을 평가할 수 있었다.

5. 결론

이상과 같이 본 연구는 ISO 2000 규격의 컨테이너를 간단한 기구를 통해 적재, 하적 및 수송할 수 있는 일체화된 고유 모델의 자동 적재 시스템을 개발하였다.

본 시스템은 트럭의 경량화를 위해 프레임을 단순화하였으며, 쉽게 탑재될 수 있도록 트럭의 제원에 맞추어 모델링하였다. 모델링 과정에서는 트럭 새시와의 간섭이 발생하지 않으면서 컨테이너의 적재 및 하적을 위한 기구 동작이 원활하게 이루어지도록 하였으며, 메커니즘의 역학적 관계를 통하여 트럭, 컨테이너, 윈치 장력, 트롤리 및 유압실린더 등의 설계 파라미터 간의 특성방정식을 도출할 수 있었다. 그리고 이들 관계를 Visual NASTRAN 4D 모듈의 작동 시뮬레이션 과정에 적용함으로써 적재 및 하적 과정에서의 차체 하중조건과 집중하중, 트럭의 들림 현상 등을 방지할 수 있는 최적 파라미터 값들을 얻을 수 있었다.

그 결과 본 CHS 시스템은 벨트식 리프팅이라는 경량화된 기구와 동력으로 컨테이너를 적재 및 하적하는 데에 매우 효율적이면서도 안정적인 작업을 수행할 수 있음을 검증할 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Tsutsumi, M., Unno, K., and Yoshino, M., 2006, "New Application to Container Handling System," *Journal of the Japan Society for Precision Machinery*, Vol. 13, No. 1, pp. 171~186.
- (2) Vipulanan, C., Dharmara, N., and Ching, E., 1994, "Mechanical Behavior of Lifting System," *Mechanical Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 268~277.
- (3) Kang, S. S., and Cho, S. K., 2010, "Structural Design and Analysis for the Reinforced Frame of Vehicle," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 504~510.
- (4) Lee, Y., and Lee, H. S., 2009, "A Study on the Optimization of Suspension Characteristics for Improving Running Safety on Railway Vehicle," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 12, No.6, pp. 909~914.
- (5) Han, M. S., and Cho, J. U., 2011, "Structural Analysis of Excavator Arm and its Connection Pins," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No.1, pp. 7~12.

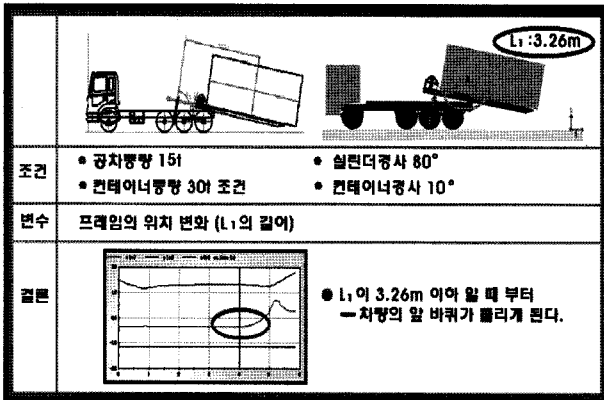


Fig. 10 Simulation of stability at lifting process of a container

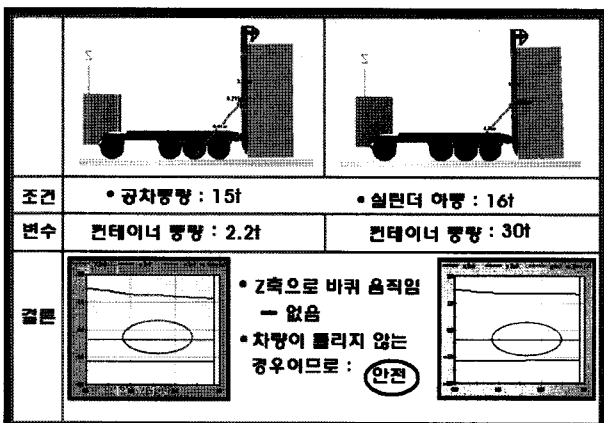


Fig. 11 Simulation of stability at 90° upright

- (6) Yoo, B. S., Koo, S., and Joh, J., 2010, "A Study on Suppression of Vibration Caused by Quick-stop Operation of Hydraulic Excavator Boom," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 27, No. 12, pp. 33~40.
- (7) Multilift Oy, 2006, *Technical specification for Container Side Loader CSL 330- Trailer Model Information*, A Partek Cargotec Company, pp. 1~33.
- (8) NASTRAN Inc., 2008, *Visual NASTRAN 4D Manual*, pp. 1~234.
- (9) Soosung Motors Technology, "N.C.H. - ISO 2000," <<http://www.wrecker.co.kr>>
- (10) Kane, J. F., 2002, *NCH Design Manual*, NCH Inc., pp. 1~35.