

# 대형 구난 차량의 최대 인양 하중에 대한 연구

## A Study on the Maximum Lifting Capacity of a Large-sized Tow Truck

서권희, 국종영, 천인범 (기아자동차(주) 상용연구소)

Kwon-Hee Suh, Jong-Young Kuk and In-Bum Chyun  
(Commercial Vehicle R&D Center, KIA Motors Corp.)

### ABSTRACT

A large-sized tow truck is the special vehicle having the components such as boom, lift cylinders, post structure, and outriggers, and the truck is developed for the urgent traction and lifting of heavy loads. So it is very important to determine the safe loads to prevent tipping of a large-sized tow truck in an early design. In this paper, a method to estimate the maximum lifting capacity of a large-sized tow truck is presented using the multibody dynamics approach. Tipping simulations are performed in the various conditions to see when tipping occurs. The standard of tipping is as follows; if one of the reaction forces coming from the ground to outriggers becomes zero, tipping occurs. The parameters, which have an influence on the maximum lifting capacity of a large-sized tow truck, are the length and orientation of boom, the orientation of post structure, the layout of outriggers, and the inertia properties of components. This parameter study shows that the width of front outriggers affects mainly the maximum lifting capacity of a large-sized tow truck.

**Key Words** : Tow Truck(견인 차량), Lifting Capacity(인양 하중), Outrigger(아웃트리거), Tipping(전복)

### 1. 서론

대형 구난 차량은 각종 건설 현장 또는 사고 현장 등에서 중량물을 인양하여 원하는 곳까지 이동시키기 위한 특수 차량으로서, 붐(Boom), 리프트 실린더(Lift cylinder), 포스트 구조부(Post structure), 그리고 전후방 아웃트리거(Outrigger) 등과 같은 장치 요소들이 추가로 장착되어 있다. 특히 대형 구난 차량은 열악한 작업 환경에서 대형 중량물을 인양하는 작업을 하는 경우가 빈번하고 작업시 운전자와 그 주변에 있는 사람들에게 큰 위험을 줄 수 있으므로 작업 안정성을 확보하기 위한 초기 안전 설계가 철저히 요구된다. 작업 안정성을 평가하는 다양한 요소들 중에서 전도 안정성(Tipping stability)이 가장 중요한 요소이므로 대형 구난 차량이 전도되지 않으면서 차량 자세를 유지할 수 있는 최대 하중을 파악해야 할 필요성이 있다. 따라서, 다양한 조건에서 최대 인양 하중을 예측하여 설계에 적용하기 위한 해석

기법들이 수행되고 있다.

또한, 대형 트럭 및 크레인의 안정성에 대한 연구들도 상당수 진행되어 오고 있다. Talbot 와 Appleton 은 덤프 트랙터-트레일러의 전도 안정성을 연구하기 위한 간단한 탄성 수학적 모델 구성 방법을 보였다<sup>[1]</sup>. Zaretsky 와 Shapiro 는 크레인을 전도 시키는데 필요한 일과 동적 운동에 의해 도입된 에너지에 대한 미분 방정식의 정식화와 그 해석을 통해 전도 문제를 해결할 수 있음을 보였다<sup>[2]</sup>. Posiadala 는 지지부의 탄성과 주요 부품들의 관성 운동을 고려한 차량 크레인과 인양 물체의 동적 모델을 구성하는 수학적 방법을 제시하였다<sup>[3]</sup>. W. S. Yoo 등은 트랙과 노면사이의 작용력을 모델링하기 위해 힘-모멘트 방정식과 실험 결과를 결합시켜 스프링 상수를 예측하는 4 단계 알고리즘을 개발하였으며, 이를 이용하여 다양한 위치에서 크롤러식 굴삭기의 최대 인양 하중을 예측하는 방법을 제시하였다<sup>[4]</sup>. Towarek 은 지면의 점탄성 특성이 붐 크레인의 동적 안정성에 미치는 영향을 제시하였다<sup>[5]</sup>. 박찬중 등은 설계자가 쉽게 장비의 동특성 및 거동시 각 부위에 발생하는 동적 하중을 예측할 수 있도록 붐의 유연성을 고려한 트럭 크레인 전용 프로그램을 개발하였다<sup>[6]</sup>. Kilicaslan 등은 유연 다물체 동역학 기법을 이용하여 기동 크레인의 전도 방지 안전 하중과 동특성을 파악하는 프로그램을 개발하였다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는 4 개의 전후방 아웃트리거에 의해 지지되는 대형 구난 차량의 다물체 모델링 방법을 보였으며, 다양한 설계 변수 변화에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 예측하는 방법을 제시하였다. 범용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems)를 이용하여 붐, 리프트 실린더, 포스트 구조부, 그리고 전후방 아웃트리거 등의 특수 장비를 장착한 대형 구난 차량에 대한 20 자유도 다물체 동역학 모델을 구성하였다. 그리고, 붐과 포스트 구조부의 구조적 안전을 고려한 붐의 길이와 경사각 변화에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 검토하였으며, 마지막으로 포스트 회전각, 아웃트리거의 배치, 차량, 붐, 포스트 구조부의 중량 변화에 따른 동역학 해석을 통해 대형 구난 차량의 인양 하중을 증대시키기 위한 방안을 제시하였다.

## 2. 대형 구난 차량의 모델링

본 장에서는 대형 구난 차량의 다물체 동역학 모델의 단순화를 위해 취해진 기본 가정들과 전후방 아웃트리거와 지면 사이의 영향을 고려하기 위한 접촉 힘 요소의 기술 및 전체 차량 모델의 기하학적 구속 관계를 소개하기로 한다.

### 2.1 기본 가정

본 논문에서 대형 구난 차량의 다물체 동역학 모델은 다음과 같은 가정들을 기초로 하여

구성되었다.

- (1) 대형 트럭, 붐, 리프트 실린더, 포스트 구조부, 그리고 전후방 아웃트리거와 같은 대형 구난 차량의 주요 구성 요소들은 강체로 고려한다.
- (2) 유압유는 비압축성 거동을 하며, 유압유의 질량은 리프트 실린더의 질량에 포함한다.
- (3) 혹 로드는 점 질량(Point mass)으로 고려한다.
- (4) 중량물을 인양시키기 위한 로프는 강체 봉(Rigid rod)으로 간주하고, 붐 끝단에서 혹 로드와 연결된다. 그리고, 이 로프는 붐 끝단의 연결점에 대한 평면 회전 운동이 자유롭다. 이 가정은 수직 위치에 대한 로프의 진동이 작고 로프가 인장 상태를 유지한다는 조건에서 유효하다. 따라서, 이 조건들은 정상적인 작동속도와 혹 로드에 대해 만족된다.
- (5) 4 개의 전후방 아웃트리거와 지면사이의 영향이 고려된다.

## 2.2 접촉 이론<sup>[8]</sup>

본 연구에서는 4 개의 전후방 아웃트리거와 지면사이의 영향을 고려하기 위해 ADAMS/Solver 에서 제공하는 접촉(Contact) 힘 요소를 이용하였다. 접촉 힘 요소를 묘사하기 위한 수직력 계산 모델로는 IMPACT 함수 모델과 POISSON 모델이 있으며, 이런 2 가지 수직력 계산 모델은 다음의 4 가지 보조 접촉 구속 조건들로부터 얻어진다.

- (1) 관통 불능 조건

$$g \geq 0$$

- (2) 분리 수직력 구속 조건

$$F_n \geq 0$$

- (3) 접촉 발생시에만 수직력이 발생되기 위한 필요 조건

$$F_n \times g = 0$$

- (4) 두 강체사이의 분리 속도가 영(Zero)인 경우에만 수직력이 발생되기 위한 영속 조건

$$F_n \times \frac{dg}{dt} = 0$$

여기서  $g$  는 갭 함수(Gap function)로서 양의 값은 관통을 나타내며,  $F_n$  은 수직 접촉력의 크기로서 양의 값은 접촉하는 물체 사이의 분리력을 나타낸다.

이런 4 가지 보조 접촉 구속 조건들 중 구속 조건 (1)~(3)으로부터 IMPACT 함수 모델의 일반형은 다음과 같이 주어진다.

$$F_n = k \times (g^e) + \text{Step}\left(\frac{dg}{dt}, 0, 0, c_{\max}, d_{\max}\right)$$

여기서  $k$  (강성)는 스칼라 벌칙 파라미터(Scalar penalty parameter),  $g$  는 한 지오메트리로부터 다른 지오메트리로의 관통,  $\frac{dg}{dt}$  는 접촉점에서의 관통 속도,  $e$  는 힘

지수(Force exponent)를 나타내는 양의 실수,  $d_{max}$  는 최대 감쇠 계수  $c_{max}$  를 적용하기 위한 경계 관통을 기술하는 양의 실수를 의미한다.

POISSON 모델은 4 가지 보조 접촉 구속 조건들 중 구속 조건 (4)의 벌치 정식화를 통해 다음과 유도된다.

$$F_n = p \times \frac{dg}{dt}$$

여기서  $p$  는 스칼라 벌칙 파라미터이다.

또한, 선택적으로 비탄성 접촉을 모델링하기 위해 복원 계수(Coefficient of restitution)  $\varepsilon$  을 이용하면 다음과 같은 POISSON 모델을 계산해낼 수 있다.

$$F_n = p \times \left[ \left( \frac{dg}{dt} \right)_+ - \left( \frac{dg}{dt} \right)_- \right]$$

여기서 하첨자  $(\cdot)_+$  와  $(\cdot)_-$  는 접촉 전후를 나타낸다.

한편, ADAMS/Solver 에서는 접촉 마찰력 계산을 위해 비교적 간단한 속도 기준 마찰 모델을 이용한다. 일반적으로 마찰 계수가 슬립 속도에 대해 변화하는 양상은 Fig. 1 과 같다.

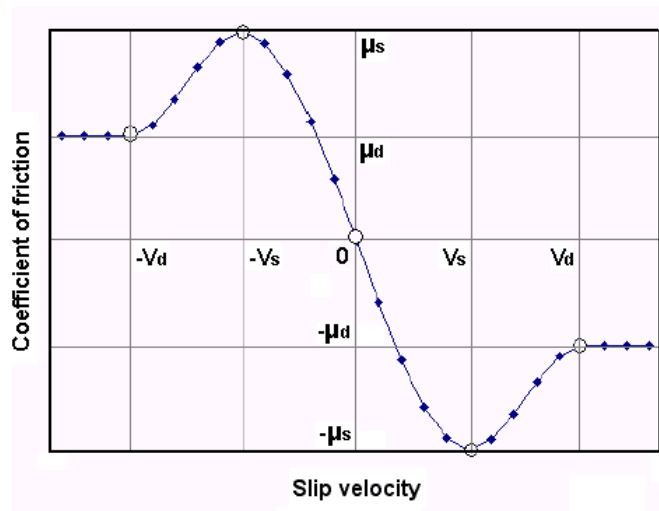


Fig. 1 Coefficient of friction vs. slip velocity

본 단순 모델에서

$$\mu(-v_s) = \mu_s$$

$$\mu(v_s) = -\mu_s$$

$$\mu(0) = 0$$

$$\mu(-v_d) = \mu_d$$

$$\mu(v_d) = -\mu_d$$

$$\mu(v) = -\text{sign}(v) \cdot \mu_d \quad \text{for } |v| > v_d$$

$$\mu(v) = -\text{step}(|v|, v_d, \mu_d, v_s, \mu_s) \cdot \text{sign}(v) \quad \text{for } v_s \leq |v| \leq v_d$$

$$\mu(v) = \text{step}(v, -v_s, \mu_s, v_s, -\mu_s) \quad \text{for } -v_s < v < v_s$$

여기서  $v$  는 접촉점에서의 슬립 속도,  $v_s$  는 고찰 진행 속도(Stiction translation velocity),  $v_d$  는 마찰 진행 속도,  $\mu_s$  는 정 마찰 계수,  $\mu_d$  는 동 마찰 계수를 나타낸다.

### 2.3 전체 차량 모델의 기하학적 구속 관계

대형 구난 차량의 다물체 동역학 모델은 Fig. 2 와 같이 크게 캐빈(Cabin)과 새시로 구성된 대형 트럭, 붐, 리프트 실린더, 포스트 구조부, 전후방 아웃트리거, 그리고 훅 로드(Hook load)로 구성되어 있으며, 범용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS 를 이용하여 모델링하였다<sup>[9]</sup>.

2.1 절의 5 가지 가정들과 2.2 절의 접촉 이론을 기초로 한 각 강체 요소사이의 상호 구속 조건은 다음과 같다. 포스트 구조부는 트럭의 새시 프레임 상단 데크(Deck)에, 붐은 포스트 구조부에, 훅 로드는 붐에 각각 회전 조인트(Revolute joint)로 구속되어 있다. 리프트 실린더는 각각 2 개의 부분으로 나누어 한쪽은 붐과 다른 한쪽은 포스트 구조부와 부싱(Bushing) 요소로 연결하였으며, 나누어진 2 개의 부분은 붐을 인양시키기 위해 병진 조인트(Translational joint)로 연결되어 있다. 또한, 전후방 아웃트리거들을 노면에 지지시키기 위해 ADAMS/Solver 에서 제공하는 구대 평면(Sphere to Plane)식 접촉 힘 요소를 이용하였다. 그리고, 접촉의 수직력 계산 모델로는 IMPACT 함수 모델을, 마찰력 계산 모델로는 쿨롱(Coulomb) 모델을 이용하였다.

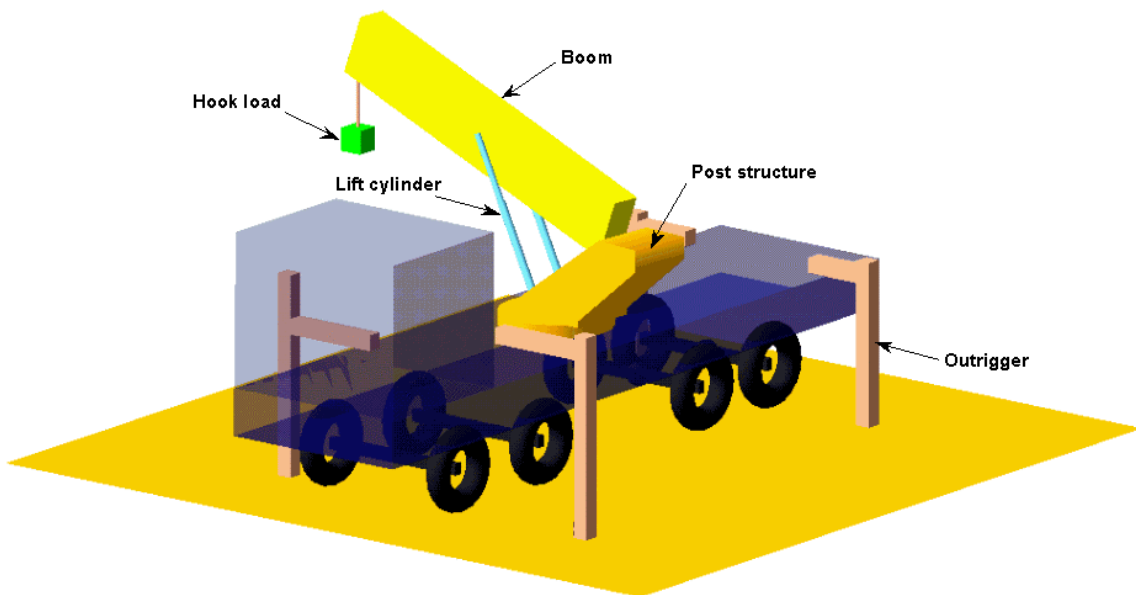


Fig. 2 Full vehicle model of a large-sized tow truck

결과적으로 대형 구난 차량의 최대 인양 하중 해석을 위한 전체 차량 모델은 총 13 개의 강체, 9 개의 조인트, 4 개의 부상, 4 개의 접촉 힘 요소, 3 개의 구동 조건으로 구성되어 있다. 그러므로, Table 1 에 자세히 계산되어 있듯이 전체 차량 모델의 총 자유도는 20 자유도이다.

Table 1. Degrees of freedom of a large-sized tow truck

Number of bodies	13
Number of coordinates	78
Number of constraints	58
Ground	6
Fixed joint	4×6
Revolute joint	3×5
Translational joint	2×5
Driver constraint	3×1
DOF	78-58=20

### 3. 최대 인양 하중 해석

본 장에서는 2 장에서 구성된 대형 구난 차량의 다물체 동역학 모델을 기초로 하여 붐의 길이와 경사각, 포스트 회전각, 전후방 아웃트리거의 배치, 대형 트럭, 붐, 포스트 구조부의 중량 변화에 따른 동역학 해석을 수행하였으며, 각 인자들이 최대 인양 하중에 미치는 영향을 평가하였다. 여기서 임의의 혹 로드가 붐의 끝단에 작용될 때 전후방 아웃트리거 반력들 중 어느 하나의 반력이라도 영이 되면 대형 구난 차량은 전도된다고 볼 수 있으므로, 따라서 대형 구난 차량의 최대 인양 하중은 차량 전체가 전도되기 전 혹 로드로 정의하였다.

#### 3.1 붐의 길이와 경사각 변화에 따른 연구

실제 작업 가능 범위 내에서 붐의 길이와 경사각 변화에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 평가하기 위한 해석 조건들은 다음과 같다. 붐의 길이 변화는 실제 차량의 작업 단수에 따라 1 단(3.7m), 2 단(6.0m), 3 단(8.4m)의 3 가지 경우, 붐의 경사각 변화는 0°~70°까지 10°단위씩 8 가지 경우를 설정하여 총 24 가지 해석 조건에 대한 동역학 해석을 수행하였다. 동역학 해석은 Fig. 2 에 나타난 바와 같이 전후방 아웃트리거의 최대 신장 상태를 기준으로 하였으며, 전방 아웃트리거와 후방 아웃트리거를 연결한 직선에 수직인 방향에 혹 로드를 위치시키기 위해 포스트를 85° 회전시킨 상태에서 수행되었다. 이런 24 가지 해석 조건에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중은 Fig. 3 에 나타내었다.

경사각 70°에서의 최대 인양 하중을 경사각 0°에서의 것과 비교해 보면, 1 단 붐의 경우 2.1 배, 2 단 붐의 경우 3.1 배, 3 단 붐의 경우 4.3 배 정도 큰 경향을 나타냈다. 최저 경사각 0°에서 붐의 길이에 따른 최대 인양 하중을 비교해보면, 1 단 붐의 경우가 2 단 붐의 경우보다

2.2 배, 3 단 붐의 경우보다 3.6 배 정도 큰 경향을 보였다. 따라서, 최대 인양 하중을 키우기 위해서는 붐의 길이를 짧게 하고 경사각을 크게 하여 전도 모멘트의 크기를 작게 해야 함을 알 수 있다.

한편, 1 단 붐의 경우는 경사각 30°~40° 구간에서, 2 단 붐의 경우는 경사각 40°~50° 구간에서, 3 단 붐의 경우는 경사각 50°~60° 구간에서 최대 인양 하중이 급격히 증가됨을 볼 수 있다. 여기서 특이한 점은 1 단 붐의 경우 경사각 40°에서 최대 인양 하중이 34.6ton, 2 단 붐의 경우 경사각 50°에서 최대 인양 하중이 20.9ton, 3 단 붐의 경우 경사각 60°에서 최대 인양 하중이 18.9ton 으로, 각 단에서 붐이 견딜 수 있는 허용 하중(1 단:36.0ton, 2 단:24.0ton, 3 단:21.0ton)에 거의 다다르고 있다는 것이다. 따라서, 이 값들을 넘어 작업을 하게 되면 붐의 파손에 따른 대형 사고를 수반할 수 있으므로 주의해야 한다.

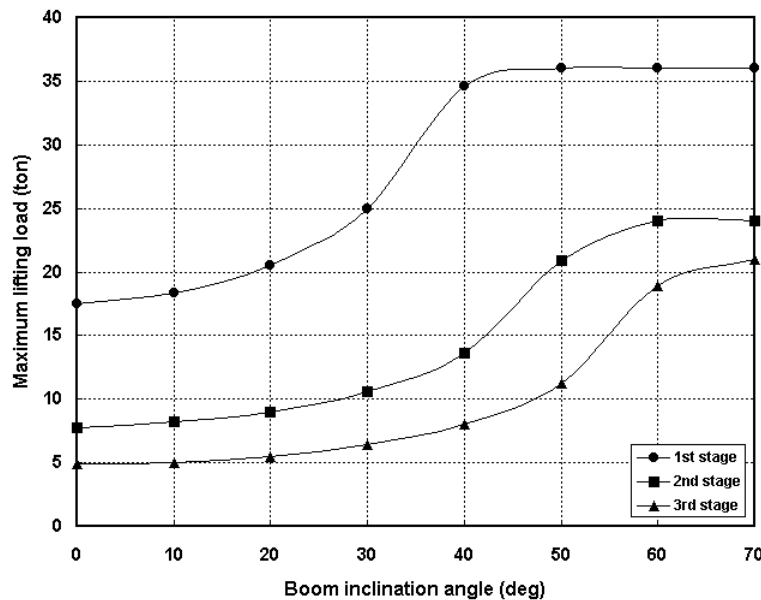


Fig. 3 Change of maximum lifting capacity with boom length and inclination angle

### 3.2 포스트 회전각 변화에 따른 연구

포스트 회전각 변화에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 검토함에 있어서는 1 단과 2 단 붐의 경우는 제외하고 경사각이 0°인 3 단 붐의 경우에 대해서만 고려하였다. 동역학 해석을 위해 포스트 회전각 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 85°의 7 가지 경우를 해석 조건으로 선정하였으며, 이에 따른 최대 인양 하중 해석 결과는 Table 2 에 나타내었다.

포스트 회전각이 0°로부터 85°까지 증가함에 따라 최대 인양 하중은 감소하게 되는데, 이는 붐의 무게 중심점이 대형 트럭의 무게 중심점으로부터 멀어짐에 따른 전도 모멘트 증가에 기인한다. 한편, 포스트 회전각이 0°인 경우는 차량의 주행 방향으로 붐이 위치된 상태이므로 이때의 결과는 대형 구난 차량의 후방 안정성을 판단할 수 있는 근거가 된다. 본 대형 구난 차량의 후방 안정성을 판단하는 설계 기준은 포스트 회전각이 0°인 경우 6.0ton 이상의 혹 로

드를 작용시킬 때 전체 차량이 안정상태를 유지할 것으로 되어 있다. 따라서, 해석결과 포스트 회전각이 0°인 경우 최대 인양 하중이 11.0ton 이므로 본 대형 구난 차량은 후방 안정성을 확보했다고 말할 수 있다.

Table 2 Maximum lifting capacities with post orientation angle

Post orientation angle(deg)	Maximum lifting capacity(ton)
0	11.0
15	8.8
30	7.0
45	5.7
60	5.0
75	4.9
85	4.8

### 3.3 전후방 아웃트리거의 배치에 따른 연구

전후방 아웃트리거의 배치에 따른 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 검토함에 있어 3.2 절에서와 마찬가지로 경사각이 0°인 3 단 붐의 경우에 대해서만 고려하였다. 현 대형 구난 차량의 전후방 아웃트리거는 Fig. 4 와 같이 전방 아웃트리거의 폭(a)이 후방 아웃트리거의 폭(c)에 비해 넓게 설계되어 있으므로, Table 3 에서와 같이 전후방 아웃트리거의 배치에 따른 최대 인양 하중의 변화를 검토하였다.

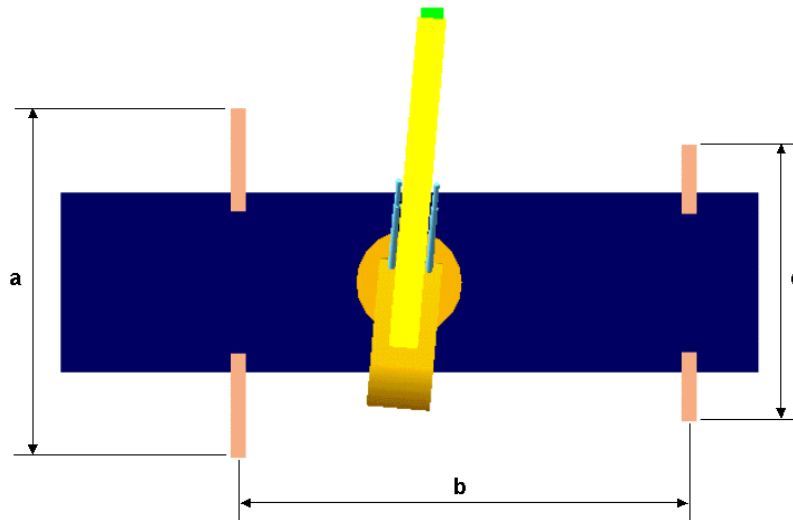


Fig. 4 Initial layout of front and rear outriggers

경우 1 과 경우 2 의 결과를 보면 전방 아웃트리거와 후방 아웃트리거 사이의 거리(b)의 변화에 따른 최대 인양 하중은 현 아웃트리거 배치에 따른 최대 인양 하중과 비교해보면 그다지 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 그러나, 경우 3~5 의 결과를 보면 현 아웃트리거



배치에 따른 최대 인양 하중과 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 경우 3 에서처럼 후방 아웃트리거의 폭을 전방 아웃트리거의 폭과 같게 하면 최대 인양 하중이 0.3ton 정도 증가하지만, 경우 4 와 경우 5 에서처럼 전방 아웃트리거의 폭을 후방 아웃트리거의 폭과 같게 하거나 전방 아웃트리거의 폭과 후방 아웃트리거의 폭을 역으로 바꾸면 최대 인양 하중이 1.0~1.2ton 까지 감소됨을 알 수 있다. 따라서, 전방 아웃트리거와 후방 아웃트리거 사이의 거리 변화보다는 후방 아웃트리거의 폭을 전방 아웃트리거의 폭과 같게 하면 대형 구난 차량의 최대 인양 하중은 증가될 것으로 보인다.

Table 3 Maximum lifting capacities with the layouts of front and rear outriggers

Cases	a(m)	b(m)	c(m)	Maximum lifting capacity(ton)
Original	4.67	6.27	3.65	4.8
Case 1	4.67	6.37	3.65	4.8
Case 2	4.67	6.17	3.65	4.7
Case 3	4.67	6.27	4.67	5.1
Case 4	3.65	6.27	3.65	3.6
Case 5	3.65	6.27	4.67	3.8

### 3.4 대형 트럭, 붐, 포스트 구조부의 중량 변화에 따른 연구

대형 구난 차량의 주요 구성부의 중량 변화에 따른 최대 인양 하중을 검토함에 있어서도 3.2 절과 3.3 절에서와 마찬가지로 1 단과 2 단 붐의 경우는 제외하고 경사각이 0°인 3 단 붐의 경우에 대해서만 고려하였다. 본 연구에서는 대형 구난 차량의 전체 중량중에서 큰 비율을 차지하고 있는 대형 트럭, 붐, 그리고 포스트 구조부의 중량을 설계 변수로 선정하였고, 각각 ±0.1ton 의 섭동량을 갖는 6 가지 해석 조건들을 구성하여 동력학 해석을 수행하였으며 그 결과들은 Table 4 에 나타내었다.

Table 4 Maximum lifting capacities with the weights of main components(unit : ton)

Cases	Truck	Boom	Post	Maximum lifting capacity
Original	19.9	2.2	1.4	4.8
Case 1	20.0	2.2	1.4	4.9
Case 2	19.8	2.2	1.4	4.7
Case 3	19.9	2.3	1.4	4.7
Case 4	19.9	2.1	1.4	4.9
Case 5	19.9	2.2	1.5	4.9
Case 6	19.9	2.2	1.3	4.7

경우 1 과 경우 2 의 결과를 통해 대형 트럭의 중량 증감에 따라 최대 인양 하중 역시 증감되고 있음을 직관적으로 알 수 있다. 그러나, 대형 트럭의 중량 증가는 최대 인양 하중의 증가에는 기여할 것으로 보이지만, 새시부 강도, 주행 성능, 그리고 연비 등에 있어 좋지 않은 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 경우 3 과 경우 4 의 결과를 보면 봄의 중량이 증가된 경우에는 최대 인양 하중이 감소되고, 역으로 봄의 중량이 감소된 경우에는 최대 인양 하중이 증가됨을 알 수 있다. 이는 봄의 중량 감소로 인한 전도 모멘트의 감소에 기인하고 있으며, 따라서 허용 파괴 강도 내에서 봄의 경량 설계를 추진해야 함을 알 수 있다. 마지막으로 경우 5 와 경우 6 의 결과를 보면 대형 트럭의 중량 증감의 결과에서와 마찬가지로 포스트 구조부의 중량 증감은 최대 인양 하중의 증감으로 이어짐을 알 수 있다. 그러나, 포스트 구조부의 중량 증가는 대형 트럭의 중량 증가에서 나타난 문제점들을 수반하고 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 특수 구난 장비를 장착한 대형 구난 차량에 대한 다물체 동역학 모델링 기법과 실제 작업 조건에서 대형 구난 차량의 전도가 발생되기 전의 안전 하중인 최대 인양 하중을 예측하는 방법을 제시하였다. 또한, 봄의 길이와 경사각, 포스트 회전각, 전후방 아웃트리거의 배치, 그리고 주요 구성 요소들의 중량과 같은 설계 변수들이 대형 구난 차량의 최대 인양 하중에 미치는 영향을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) ADAMS 를 이용한 대형 구난 차량의 다물체 동역학 해석을 통해 비교적 쉽고 빠르게 다양한 설계 변수들이 최대 인양 하중에 미치는 영향을 파악할 수 있었으며, 주요 부재들의 구조 강도 평가를 위한 기본 자료들을 제공할 수 있었다.

2) 봄의 길이와 경사각은 대형 구난 차량의 전도 모멘트와 최대 인양 하중의 변화에 큰 영향을 주는 설계 변수들로서, 특히 봄의 길이별로 특정 경사각에서 대형 구난 차량의 최대 인양 하중은 봄이 견딜 수 있는 허용 안전 하중까지 급격히 증가하게 됨을 볼 수 있었다. 따라서, 이 결과를 기초로 하여 봄의 길이별 특정 경사각에서의 최대 인양 하중을 임계 작업 하중으로 설정할 수 있었다.

3) 포스트 구조부는 중량물 인양을 위해 봄의 회전 운동을 유발시키는 구성 요소로서, 그 회전각의 증가에 따라 최대 인양 능력은 점차 감소하여 전후방 아웃트리거를 잇는 직선에 수직인 회전각  $85^\circ$ 에서 최소가 됨을 알 수 있었다.

4) 전후방 아웃트리거의 배치는 봄의 길이와 경사각 변수와 마찬가지로 대형 구난 차량의 최대 인양 하중에 큰 영향을 미치는 설계 변수임을 알 수 있었다. 전방 아웃트리거 폭 감소는 최대 인양 하중의 감소로 이어졌으며, 후방 아웃트리거 폭을 전방 아웃트리거 폭과 같게 하는 경우가 대형 구난 차량의 최대 인양 하중을 극대화하는 방안임을 알 수 있었다.

5) 대형 트럭과 포스트 구조부의 중량 증감은 최대 인양 하중의 증감으로 그대로 이어졌으나, 붐의 경우에는 중량의 감소로 인해 최대 인양 하중이 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 초기 설계시 허용 파괴 강도 내에서 붐의 경량화가 가능할 것으로 판단되었다.

6) 본 연구에서는 해석 대상 전체를 강체로 가정하였을 뿐만 아니라 리프트 실린더의 유압 제어 시스템 및 노면의 특성 등이 검토되지 않았다. 따라서, 향후 대형 구난 차량의 최대 인양 하중 예측하는 방법의 정확성을 향상시키기 위해 붐의 유연체 모델링, 리프트 실린더의 유압 회로 구성, 그리고 토양의 점탄성 특성 모델링 기법 등을 연구하고자 한다.

### 참고문헌

1. Thomas F. Talbot and Joseph H. Appleton, "Dump Truck Stability," Presented at the Spring Natl. Design Engineering Conf. And Show, ASME 86-DE-3, 1986.
2. Anatoly A. Zaretsky and Howard I. Shapiro, "Overturning Stability of a Free Standing Crane Under Dynamic Loading," SAE 972721, 1997.
3. B. POSIADALA, "INFLUENCE OF CRANE SUPPORT SYSTEM ON MOTION OF THE LIFTEDLOAD," Mech. Mach. Theory Vol. 32, No. 1, pp. 9~20, 1997.
4. W. S. Yoo et al., "Estimation of Maximum Lifting Load Capacities of a Hydraulic Excavator via Multibody Computer Modeling and Simulation," KSME International Journal, Vol. 12, No. 6, pp. 1090~1096, 1998.
5. ZIGMUNT TOWAREK, "THE DYNAMIC STABILITY OF A CRANE STANDING ON SOIL DURING THE ROTATION OF THE BOOM," Int. J. Mech. Sci., Vol. 40, No. 6, pp. 557~574, 1998.
6. 박찬중, 박태원, 김종헌, "붐의 유연성을 고려한 트럭 크레인의 설계 전용 동력학 해석 프로그램 개발," 한국공작기계학회지 제 7 권 제 6 호, pp. 28~35, 1998.
7. S. KILICASLAN et al., "TIPPING LOADS OF MOBILE CRANES WITH FLEXIBLE BOOMS," Journal of Sound and Vibration, Vol. 223, No. 4, pp. 645~657, 1999.
8. Using ADAMS/Solver, V11, Mechanical Dynamics Inc., pp. 36~64, 2000.
9. Getting Started Using ADAMS/View, V11, Mechanical Dynamics Inc., 2000.